



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



“MODELACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE  
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO JESÚS DEL GRAN PODER”

# TOMO 1

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN  
DEL TITULO DE INGENIERO CIVIL

**AUTOR:**

PAÚL VINICIO MENDIETA PRIETO

**DIRECTOR:**

DIEGO BENJAMÍN IDROVO MURILLO

**CUENCA – ECUADOR**

NOVIEMBRE – 2014



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

## RESUMEN

En vista del desarrollo tecnológico y la importancia de incorporar nuevas herramientas de trabajo para aprovechar mejor el tiempo en actividades ingenieriles, este estudio se enfoca en la utilización de programas como AutoCAD Civil 3D, ArcGIS y WaterGems para la evaluación del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de Jesús del Gran Poder de la parroquia Molleturo del cantón Cuenca, con el objetivo de simular el funcionamiento de la red de distribución con caudales actuales y caudales de diseño para el año 2034. Después de todos estos análisis se presentarán potencialidades y limitantes del sistema de agua potable, y las propuestas de mejoramiento.

En el capítulo I, se detalla la información básica del sistema de agua potable y de las comunidades beneficiadas.

En el capítulo II, se expone el funcionamiento de los sistemas hidráulicos y sus componentes. Además se presentan los fundamentos conceptuales de los programas WaterGems, ArcGIS y AutoCAD Civil 3D, y su factibilidad de uso para proyectos de agua potable.

En el capítulo III, se desarrolla el estudio poblacional y se determinan los consumos actuales y futuros de las 8 comunidades beneficiadas.

En el capítulo IV, se proporcionan de propiedades topológicas a cada elemento de la red, estableciendo la cobertura que tiene el sistema. Se explica paso a paso el proceso de generación de un modelo hidráulico en el programa WaterGems, para su posterior simulación con varios escenarios de cálculo.

En el capítulo V, se puntualizan las diferentes problemáticas y se brindan recomendaciones.

### **PALABRAS CLAVES:**

Sistema hidráulico, programa water gems, modelado de redes de agua.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**ABSTRACT**

With regard to the technological development and the importance of incorporate new work tools to spend in better ways the time on engineering activities, this study focuses on the utilization of software like AutoCAD Civil 3D, ArcGIS and WaterGems to evaluate the Jesús del Gran Poder System Water Supply from the Molleturo's parish of the canton Cuenca, with the objective of simulating the operation of the distribution network with current flow and designed flow for the year 2034. After all this analysis the potentialities and limitations of the system water supply will be shown and explained as well as the proposals for improvement of the system.

Chapter I details the basic information of the system water supply and also of the beneficiary communities.

Chapter II exposes the hydraulic systems operation and its components. This chapter also explains the conceptual foundations of the three software: WaterGems, ArcGIS and AutoCAD Civil 3D, and shows the feasibility that this programs have to use them in water projects.

Chapter III develops the population study and determines the demands generated in the present and in the future of the 8 beneficiary communities.

In Chapter IV it is provided the topology properties for each element of the distribution network, setting the coverage that the system water supply has. This chapter explains step by step the process of how to generate a hydraulic model with the software WaterGems, this hydraulic model will be used later on to simulate several calculation scenarios.

In Chapter V it is pointed the different problems in the distribution network and also offers recommendations for the system water supply.

**KEYWORDS:**

Hydraulics, water gems program, modeling water networks.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	3
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	4
CAPÍTULO PRIMERO .....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	13
<b>1.1.</b> Antecedentes .....	13
<b>1.2.</b> Justificación .....	13
<b>1.3.</b> Objetivo General .....	14
<b>1.4.</b> Objetivos Específicos .....	14
CAPÍTULO SEGUNDO.....	15
2. MARCO TEÓRICO.....	15
<b>2.1.</b> Análisis Poblacional .....	15
<b>2.2.</b> Redes de abastecimiento de agua potable .....	27
<b>2.3.</b> Análisis hidráulico de tuberías .....	29
<b>2.4.</b> Manejo del software ArcMap.....	35
<b>2.5.</b> Manejo del software WaterGems .....	46
<b>2.6.</b> Manejo del software CivilCad (Planificación y Análisis) .....	60
CAPÍTULO TERCERO .....	67
3. Parámetros de diseño.....	67
<b>3.1.</b> Determinación del número de habitantes .....	67
<b>3.2.</b> Estimación del área de cobertura .....	78
<b>3.3.</b> Estudio de consumos.....	79
<b>3.4.</b> Determinación de la dotación de diseño.....	84
<b>3.5.</b> Criterios para la evaluación de la red de distribución: presiones, velocidades, diámetros y pérdidas de carga .....	89
CAPITULO CUARTO.....	94
4. MODULACIÓN HIDRÁULICA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN .....	94
<b>4.1.</b> Aislar y clasificar los elementos y unidades hidráulicas.....	94



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

4.1.1.	Redes de agua .....	94
4.1.2.	Accesorios .....	97
4.1.3.	Rompe presiones.....	100
4.1.4.	Reductores de presión .....	101
4.1.5.	Válvulas de control .....	101
4.1.6.	Válvulas de desfogue.....	104
<b>4.2.</b>	Asignación de propiedades utilizando herramientas GIS.....	106
4.2.1.	Determinación de áreas de servicio .....	106
4.2.2.	Determinación de la cobertura del sistema .....	117
4.2.3.	Determinación de áreas de cobertura potenciales .....	119
4.2.4.	Catastro de redes y usuarios .....	120
<b>4.3.</b>	Construcción del modelo hidráulico .....	125
4.3.1.	Sectorización .....	125
4.3.2.	Implementación y procesamiento de los parámetros de diseño al modelo .....	126
4.3.3.	Asignación de las unidades hidráulicas del sistema.....	134
4.3.4.	Modulación del sistema con el software WaterGems .....	138
4.3.5.	Simulación de funcionamiento del modelo con caudales de diseño y con caudales actuales	143
4.3.6.	Chequeo de la conectividad de los instrumentos .....	147
<b>4.4.</b>	Formulación de escenarios de cálculo y análisis del sistema.....	148
CAPÍTULO QUINTO .....		165
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		165
<b>5.1.</b>	Potencialidades y limitantes del sistema .....	165
<b>5.2.</b>	Propuestas de mejoramiento.....	166
CAPÍTULO SEXTO .....		167
<b>6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>		167



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**ÍNDICE DE TABLAS**

**CAPÍTULO SEGUNDO**

Tabla 2. 1: TABLA DE SERVICIOS.....	25
-------------------------------------	----

**CAPÍTULO TERCERO**

Tabla 3. 1: TABLA DE CONSUMOS Y HABITANTES DE ESTERO PIEDRA .....	71
Tabla 3.2: TABLA DE CONSUMOS Y HABITANTES DE LUZ DE AMÉRICA .....	72
Tabla 3.3: TABLA DE CONSUMOS Y HABITANTES DE PUTUCAY .....	74
Tabla 3. 4: TABLA DE CONSUMOS Y HABITANTES DE VÍA PUTUCAY - ESTERO PIEDRA.....	74
Tabla 3.5: TABLA RESUMEN DE HABITANTES .....	75
Tabla 3.6: TABLA RESUMEN DE LA POBLACIÓN DE MOLLETURO .....	75
Tabla 3.7: PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN .....	77
Tabla 3. 8: TABLA DE INCREMENTO DE LA POBLACIÓN DE DISEÑO CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE PROYECCIÓN .....	78
Tabla 3.9: CÁLCULO DE LA DOTACIÓN EN ESTERO PIEDRA.....	80
Tabla 3.10: CÁLCULO DE LA DOTACIÓN EN LUZ DE AMÉRICA .....	81
Tabla 3.11: CÁLCULO DE LA DOTACIÓN EN PUTUCAY .....	81
Tabla 3. 12: CÁLCULO DE LA DOTACIÓN EN VÍA PUTUCAY-ESTERO PIEDRA .....	82
Tabla 3.13: CÁLCULO DE LA DOTACIÓN ACTUAL.....	83
Tabla 3.14: CÁLCULO DEL CAUDAL MEDIO DIARIO .....	84
Tabla 3. 15: CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO DIARIO.....	87
Tabla 3.16: CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO HORARIO .....	87
Tabla 3.17: CÁLCULO DEL CAUDAL MEDIO .....	88
Tabla 3.18: CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO DIARIO .....	88
Tabla 3. 19: CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO HORARIO .....	89

**CAPÍTULO CUARTO**

Tabla 4. 1: TABLA RESUMEN DE TUBERÍAS .....	96
TABLA 4. 2: TABLA RESUMEN DE REDUCTORES DE SECCIÓN, TEES Y TAPONES .....	99
Tabla 4.3: CLASIFICACIÓN DE ACCESORIOS TEE.....	99
Tabla 4.4: CLASIFICACIÓN DE REDUCTORES DE SECCIÓN .....	100
Tabla 4.5: TABLA RESUMEN DE TANQUE ROMPE PRESIONES.....	100
Tabla 4.6: TABLA DE RESUMEN DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL .....	103
Tabla 4.7: TABLA DE LONGITUDES DE LA TUBERÍA.....	119
Tabla 4.8: TABLA DE VÁLVULAS DE CONTROL A CARGO DE CADA SECTOR .....	126
Tabla 4. 9: TABLA DE PÉRDIDAS DE CARGA FUERA DE RANGO SISTEMA 2014 .....	148
Tabla 4.10: TABLA DE PÉRDIDAS DE CARGA FUERA DE RANGO SISTEMA 2034.....	149
Tabla 4.11: TABLA VELOCIDADES FUERA DE RANGO SISTEMA 2014 .....	152



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

<i>Tabla 4.12:</i> TABLA VELOCIDADES FUERA DE RANGO SISTEMA 2034 .....	155
<i>Tabla 4.13:</i> TABLA RESUMEN DE LOS NODOS CON PRESIONES ANORMALES SISTEMA 2014 .....	157
<i>Tabla 4.14:</i> TABLA RESUMEN DE LOS NODOS CON PRESIONES ANORMALES SISTEMA 2034 ...	159
<i>Tabla 4.15:</i> TABLA DE CAMBIO DE TUBERÍAS .....	162
<b><i>Tabla 4.16:</i></b> TABLA DE INSTALACIÓN DE NUEVAS VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN.....	162
<i>Tabla 4.17:</i> TABLA DE TANQUES ROMPE PRESIONES DE REDISEÑO.....	163
<i>Tabla 4.18:</i> TABLA RESUMEN DE LOS NODOS CON PRESIONES ANORMALES SISTEMA DE REDISEÑO 2014.....	163
<i>Tabla 4.19:</i> TABLA RESUMEN DE LOS NODOS CON PRESIONES ANORMALES SISTEMA DE REDISEÑO 2014 .....	164

## ÍNDICE DE IMÁGENES

### CAPÍTULO SEGUNDO

<i>Imagen 2. 1:</i> UBICACIÓN DE LA PARROQUIA MOLLETURO EN EL CANTÓN CUENCA .....	16
<i>Imagen 2.2:</i> SISTEMA JESÚS DEL GRAN PODER EMPLAZADO EN TOPOGRAFÍA .....	17
<i>Imagen 2.3:</i> VIVIENDA TIPO .....	18
<i>Imagen 2.4:</i> <b>POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO DE MOLLETURO</b> .....	20
<i>Imagen 2.5:</i> ACTIVIDADES ECONÓMICAS GENERALES .....	26
<i>Imagen 2.6:</i> DIVISIÓN POR EXTENSIÓN DE FINCAS.....	27
<i>Imagen 2.7:</i> CARGAS EN LOS EXTREMOS DEL TUBO .....	30
<i>Imagen 2.8:</i> DIAGRAMA DE MOODY .....	32
<i>Imagen 2.9:</i> SISTEMA CERRADO DE TUBERÍAS.....	33
<i>Imagen 2.10:</i> DESCOMPOSICIÓN POR CAPAS DE UN SIG.....	36
<i>Imagen 2.11:</i> INTEGRACIÓN DE DATOS GEOGRÁFICOS.....	38
<i>Imagen 2.12:</i> DIMENSIONAMIENTO DE ENTIDADES GEOGRÁFICAS.....	39
<i>Imagen 2.13:</i> REPRESENTACIÓN VECTORIAL.....	40
<i>Imagen 2.14:</i> REPRESENTACIÓN RASTER.....	41
<i>Imagen 2.15:</i> ENTIDADES GRÁFICAS (POLÍGONOS).....	43
<i>Imagen 2.16:</i> APLICACIÓN AL MODELO ARCO NUDO .....	43
<i>Imagen 2.17:</i> NOMENCLATURA DE NODOS .....	44
<i>Imagen 2.18:</i> SISTEMA ARCGIS .....	45
<i>Imagen 2.19:</i> INTERFAZ ARCMAP .....	46
<i>Imagen 2.20:</i> INTERFAZ DEL PROGRAMA WATERGEMS .....	48
<i>Imagen 2.21:</i> INTEROPERABILIDAD DE WATERGEMS .....	52
<i>Imagen 2.22:</i> INTEGRACIÓN GIS.....	53
<i>Imagen 2.23:</i> DIFERENTES USOS DE TABLAS FLEXIBLES .....	54
<i>Imagen 2.24:</i> MÓDULOS GEOESPACIALES .....	56
<i>Imagen 2. 25:</i> PUBLICACIÓN DE UN SISTEMA CON GOOGLE EARTH .....	57



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

<i>Imagen 2.26: USO DEL ADMINISTRADOR CRITICAL ANALYSIS.....</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 2.27: MANEJO DE ESCENARIOS .....</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 2.28: COSTO DE ENERGÍA Y USO ENERGÉTICO.....</i>	<i>59</i>
<i>Imagen 2.29: OPCIONES DE PRESENTACIÓN .....</i>	<i>60</i>
<i>Imagen 2. 30: MODELADO DE UNA INTERSECCIÓN EN 3D.....</i>	<i>64</i>
<i>Imagen 2.31: VISUALIZACIÓN 3D DE UNA SUPERFICIE .....</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 2.32: COMBINACIÓN DE FORMATOS.....</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 2.33: TRABAJAR SOBRE ARCHIVO GIS .....</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 2.34: FORMACIÓN DE PUNTOS Y LÍNEAS DE CONTORNOS.....</i>	<i>66</i>
<i>Imagen 2.35: GENERACIÓN DE UNA SUPERFICIE CON HERRAMIENTAS CIVILCAD .....</i>	<i>67</i>

### **CAPÍTULO TERCERO**

<i>Imagen 3.1: GRÁFICA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL (MÉTODO ARITMÉTICO, MÉTODO EXPONENCIAL, MÉTODO GEOMÉTRICO Y NORMA ECUATORIANA) .....</i>	<i>77</i>
<i>Imagen 3.2: ÁREA DE COBERTURA.....</i>	<i>79</i>
<i>Imagen 3.3: NIVELES DE SERVICIO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS .....</i>	<i>85</i>
<i>Imagen 3.4: DOTACIONES DE AGUA PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE SERVICIO .....</i>	<i>85</i>
<i>Imagen 3.5: PORCENTAJES DE FUGAS A CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.....</i>	<i>86</i>
<i>Imagen 3. 6: CUADRO DE SIMBOLOGÍA PARA PRESIONES EN LOS NUDOS .....</i>	<i>90</i>
<i>Imagen 3.7: CUADRO DE SIMBOLOGÍA PARA PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS .....</i>	<i>93</i>

### **CAPÍTULO CUARTO**

<i>Imagen 4.1: TUBERÍAS DEL SISTEMA DE AGUA JESÚS DEL GRAN PODER.....</i>	<i>95</i>
<i>Imagen 4.2: CONFIGURACIÓN POR CAPAS .....</i>	<i>95</i>
<i>Imagen 4.3: NUDOS DE LA RED.....</i>	<i>96</i>
<i>Imagen 4.4: VENTANA DE ACCESORIOS.....</i>	<i>97</i>
<i>Imagen 4.5: VISUALIZACIÓN DE TAPÓN.....</i>	<i>98</i>
<i>Imagen 4.6: VISUALIZACIÓN DE TEE.....</i>	<i>98</i>
<i>Imagen 4.7: VISUALIZACIÓN DE REDUCTORA DE SECCIÓN .....</i>	<i>99</i>
<i>Imagen 4.8: VISUALIZACIÓN DE TANQUE ROMPE PRESIONES.....</i>	<i>100</i>
<i>Imagen 4.9: VISUALIZACIÓN DE VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN.....</i>	<i>101</i>
<i>Imagen 4.10: VISUALIZACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL.....</i>	<i>102</i>
<i>Imagen 4.11: UBICACIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL EN EL SISTEMA.....</i>	<i>103</i>





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

<i>Imagen 4.12:</i> VISUALIZACIÓN DE LA VÁLVULA DE DESFOGUE .....	104
<i>Imagen 4.13:</i> VENTANA DE EXPORTACIÓN DE COMPONENTES .....	105
<i>Imagen 4.14:</i> VENTANA DE FILTRACIÓN DE ACCESORIOS.....	105
<i>Imagen 4.15:</i> TRAZADO DE LAS ÁREAS DE APORTE EN CIVILCAD.....	106
<i>Imagen 4.16:</i> INTERFAZ DE ARCMAP.....	107
<i>Imagen 4.17:</i> CARGANDO UN ARCHIVO DWG EN ARCMAP .....	108
<i>Imagen 4.18:</i> VISUALIZACIÓN DE CATASTRO DE REDES Y USUARIOS .....	108
<i>Imagen 4.19:</i> TABLA DE ATRIBUTOS DE LAS POLILÍNEAS.....	109
<i>Imagen 4.20:</i> USO DE LA HERRAMIENTA SELECT BY ATTRIBUTES.....	109
<i>Imagen 4.21:</i> USO DEL LAYER PARA LA SELECCIÓN DE TUBERÍAS.....	110
<i>Imagen 4.22:</i> MANEJO DE LA TABLA DE ATRIBUTOS.....	111
<i>Imagen 4.23:</i> AVISO DE VISUALIZACIÓN.....	111
<i>Imagen 4.24:</i> VISUALIZACIÓN DE TUBERÍAS .....	112
<i>Imagen 4.25:</i> CONFIGURACIÓN DE LA TABLA DE ATRIBUTOS DE LAS TUBERÍAS.....	113
<i>Imagen 4.26:</i> TABLA DE ATRIBUTOS DE REDUCTORES DE SECCIÓN .....	114
<i>Imagen 4.27:</i> NUDOS EXPORTADOS DESDE WATERGEMS.....	115
<i>Imagen 4.28:</i> ELIMINACIÓN DE NUDOS QUE REPRESENTAN REDUCTORES DE SECCIÓN .....	115
<i>Imagen 4.29:</i> TABLA CONFIGURADA DE NUDOS .....	116
<i>Imagen 4.30:</i> ÁREAS DE SERVICIO Y NUDOS .....	117
<i>Imagen 4.31:</i> TABLA DE ATRIBUTOS DE TAPONES.....	121
<i>Imagen 4.32:</i> TABLA DE ATRIBUTOS DE TANQUES ROMPE PRESIONES Y VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN.....	122
<i>Imagen 4.33:</i> TABLA DE ATRIBUTOS DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL .....	122
<i>Imagen 4.34:</i> TABLA DE ATRIBUTOS DE LOS USUARIOS.....	123
<i>Imagen 4.35:</i> CATASTRO DE REDES Y USUARIOS ZONA JESÚS DE GRAN PODER .....	124
<i>Imagen 4.36:</i> SECTORIZACIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE JESÚS DEL GRAN PODER .....	126
<i>Imagen 4.37:</i> INTERFAZ WATERGEMS.....	127
<i>Imagen 4.38:</i> MÉTODOS DISPONIBLES DEL LOADBUILDER .....	128
<i>Imagen 4.39:</i> VENTANA DE DISTRIBUCIÓN PROPORCIONAL POR ÁREA.....	129
<i>Imagen 4.40:</i> TABLA DE ATRIBUTOS DE DOTACIÓN EN ÁREAS DE SERVICIO.....	130
<i>Imagen 4.41:</i> VENTANA DEL SUMARIO DE CÁLCULOS .....	131
<i>Imagen 4.42:</i> VENTANA DE VISTA PRELIMINAR DE RESULTADOS .....	132
<i>Imagen 4.43:</i> VENTANA DE TERMINACIÓN DEL PROCESO DE LOADBUILDER.....	132
<i>Imagen 4.44:</i> VENTANA DE ELEMENT SYMBOLOGY .....	133
<i>Imagen 4.45:</i> VENTANA DEL MODELUILDER .....	134
<i>Imagen 4.46:</i> VENTANA DEL MODELUILDER LLENADA.....	135
<i>Imagen 4.47:</i> VENTANA DE OPCIONES DE ESPECIFICACIÓN ESPACIAL Y CONECTIVIDAD .....	135
<i>Imagen 4.48:</i> VENTANA DE ESPECIFICACIÓN DE LAS OPCIONES DE CADA ELEMENTO.....	136
<i>Imagen 4.49:</i> VENTANA DE ESPECIFICACIÓN DE OPCIONES ADICIONALES .....	136



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

<i>Imagen 4.50:</i> VENTANA DE ESPECIFICACIÓN DE LOS CAMPOS DE MAPEO PARA CADA TABLA DE ATRIBUTOS .....	137
<i>Imagen 4.51:</i> VENTANA PARA LA CREACIÓN DE UN MODELO.....	137
<i>Imagen 4.52:</i> MODELACIÓN DE LAS UNIDADES HIDRÁULICAS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE JESÚS DEL GRAN PODER.....	138
<i>Imagen 4.53:</i> ASIGNACIÓN DE UN RESERVOIRIO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN .....	139
<i>Imagen 4.54:</i> TABLA FLEXIBLE DE LAS TUBERÍAS.....	139
<i>Imagen 4.55:</i> TABLA FLEXIBLE DE LOS NUDOS.....	140
<i>Imagen 4.56:</i> TABLA FLEXIBLE DE VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN INCLUYE (5 TANQUES ROMPE PRESIÓN).....	140
<i>Imagen 4.57:</i> TABLA FLEXIBLE DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL.....	141
<i>Imagen 4.58:</i> VENTANA DE SELECCIÓN DE ARCHIVO .....	142
<i>Imagen 4.59:</i> VENTANA TERMINACIÓN DE USO DE LA HERRAMIENTA TREX WIZARD .....	143
<i>Imagen 4.60:</i> VENTANA RESUMEN DE LOS CÁLCULOS CON WATERGEMS .....	144
<i>Imagen 4.61:</i> SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO CON CAUDALES ACTUALES...	145
<i>Imagen 4.62:</i> SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO CON EL CAUDAL DE DISEÑO .	146
<i>Imagen 4.63:</i> TABLA DE PROPIEDADES DE UNA VÁLVULA DE CONTROL.....	147
<i>Imagen 4.64:</i> TABLA DE PROPIEDADES DE UNA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN .....	147
<i>Imagen 4.65:</i> ESCENARIO DE REDISEÑO CON CAUDALES 2014.....	160
<i>Imagen 4.66:</i> ESCENARIO DE REDISEÑO CON CAUDALES 2034.....	161



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Paúl Vinicio Mendieta Prieto, autor de la tesis “MODELACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE JESÚS DEL GRAN PODER”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 20 de Octubre de 2014

---

Paúl Vinicio Mendieta Prieto  
C.I: 0104370192



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

Yo, Paúl Vinicio Mendieta Prieto, autor de la tesis “MODELACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE JESÚS DEL GRAN PODER”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 20 de Octubre de 2014

---

Paúl Vinicio Mendieta Prieto  
C.I: 0104370192



## CAPÍTULO PRIMERO

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Antecedentes

La Organización Mundial de la Salud define al agua potable de la siguiente manera: *“es el agua utilizada para los fines domésticos y la higiene personal, así como para beber y cocinar;”*(8). El agua potable es un servicio público de vital importancia que forma parte del desarrollo de un país

*“Uno tiene acceso al agua potable si la fuente de la misma se encuentra a menos de 1 kilómetro de distancia del lugar de utilización y si uno puede obtener de manera fiable al menos 20 litros diarios para cada miembro de la familia.”*(8)

La empresa encargada de proporcionar el servicio de agua potable para el cantón Cuenca es ETAPA EP. En estos momentos, la empresa cuenta con un total de 20 plantas de potabilización generando así una cobertura de agua potable que alcanza el 96% en el área urbana y el 88% en el área rural (9).

Dentro de la parroquia Molleturo se encuentra el sistema de agua potable Jesús del Gran Poder que abastece a las comunidades de Jesús del Gran Poder, Estero Piedra, Putucay, Luz de América, La Suya, La Compuerta, La Teresa, y Tres Ranchos; brindando así el servicio de agua potable a un aproximado de 3400 personas. Este sistema de agua potable tiene 3 años de funcionamiento, cuenta con una planta de potabilización convencional mediante filtración rápida a presión seguido de dos filtros lentos de arena y una capacidad de producción de 15 l/s (9).

#### 1.2. Justificación

La evaluación de una red de distribución de agua potable es de importancia debido a que permite establecer parámetros del estado actual de un sistema, en términos de su operatividad, caudales, velocidades y presiones, lo cual es enteramente de mi interés ya que a lo largo de mi



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

experiencia universitaria he visto como los proyectos de sistemas de agua potable ofrecen un beneficio muy significativo para comunidades de los sectores rurales del cantón. Esta es la razón principal por lo que se quiso trabajar conjuntamente con la Empresa Pública ETAPA. EP y la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca, con la finalidad de contribuir mutuamente con el desarrollo del aprendizaje, experimentación en campo y servicio a la población del cantón Cuenca, y en este caso en específico de las comunidades de la parroquia Molleturo. El beneficio principal que se busca es que se tenga un panorama claro del funcionamiento de la red de abastecimiento, con el objetivo de analizar sus potencialidades y limitantes, además de encontrar posibles propuestas de mejoramiento que permitan tener un mejor desempeño del sistema de agua potable. Por otro lado, ETAPA EP dispondrá de un modelo del sistema de distribución que le permitirá evaluar modificaciones que se hagan a la red.

### **1.3. Objetivo General**

- Evaluar la red de abastecimiento de agua potable del sistema de agua potable Jesús del Gran poder.

### **1.4. Objetivos Específicos**

- Determinar características generales de la población con respecto al uso del agua.
- Definir y ubicar a cada uno de los usuarios, y las redes de distribución.
- Incorporar herramientas técnicas para la generación de los modelos matemáticos de un sistema hidráulico.
- Generar un modelo matemático del sistema.
- Comparar y evaluar diferentes escenarios que pueden darse en el sistema de abastecimiento.



## **CAPÍTULO SEGUNDO**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Análisis Poblacional**

##### **Introducción**

Para esta sección es necesario determinar cómo es el estilo de vida de las comunidades para comprender la utilización del agua. Por esta razón se realizó una entrevista al Ing. Marcelo Mendieta (Supervisor de plantas de tratamiento rurales) de la empresa ETAPA EP quien se encuentra a cargo del sistema de agua potable Jesús del Gran Poder desde el año 2011, con el propósito de obtener información sobre el uso del agua y temas relacionados a la actividad productiva, actividad económica, educación, salud, migración, etc., de las comunidades beneficiadas por el sistema de agua potable.

##### **Antecedentes**

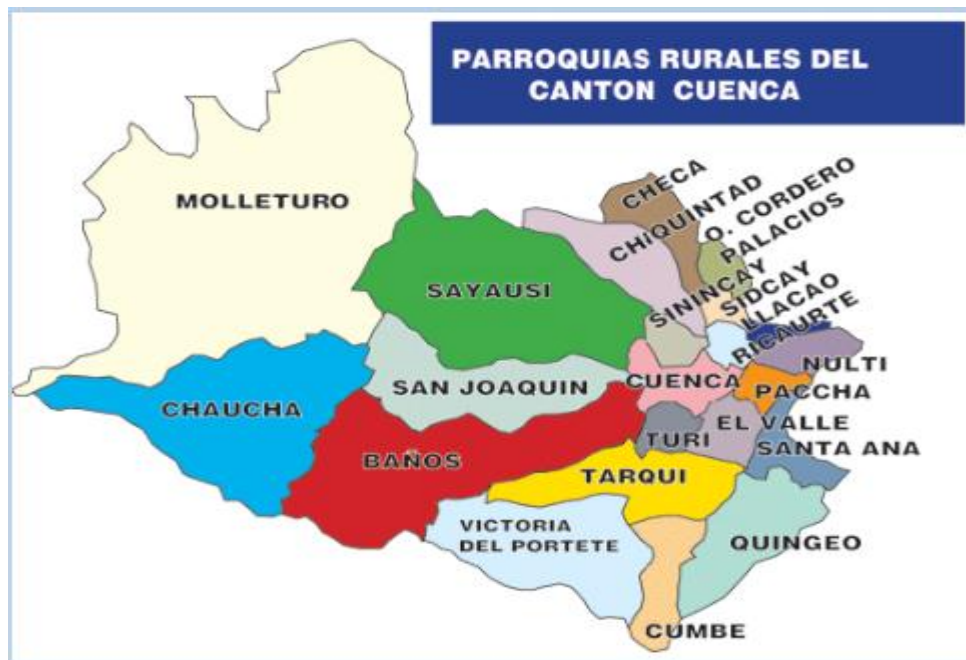
El sistema de abastecimiento de agua potable de Jesús del Gran Poder cuenta con 8 poblados que son: Jesús del Gran Poder, Estero Piedra, Putucay, Luz de América, La Suya, La Compuerta, La Teresa, y Tres Ranchos. De todas estas comunidades se puede tomar a Jesús del Gran Poder como la más representativa por ser la de mayor extensión y desarrollo, ya que cuenta con los servicios básicos como: agua potable, alcantarillado sanitario, un sub-centro de salud, una Unidad de Policía Comunitaria (UPC), servicio de transporte, luz eléctrica, y escuela primaria.

##### **Características de la población**

**Ubicación geográfica.-** El sistema de abastecimiento de agua potable de Jesús del Gran Poder se encuentra en la parroquia Molleturo dentro del Cantón Cuenca, ubicado al noroeste de la provincia del Azuay. La imagen 2.1 muestra la ubicación del centro parroquial de Molleturo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Fuente:** ANDREA RIVERA, EL ECUATORIANO

**Imagen 2. 1:** UBICACIÓN DE LA PARROQUIA MOLLETURO EN EL CANTÓN CUENCA

**Clima.-** La zona de estudio se encuentra en la parte costanera de la parroquia Molleturo. En cuanto a precipitación se tiene alrededor de 3286 mm a lo largo de enero a diciembre, con una cantidad de lluvia importante inclusive en los meses más secos, enero justamente es el mes más seco con 199 mm y abril el mes con mayor precipitación promedio de 353 mm (26).

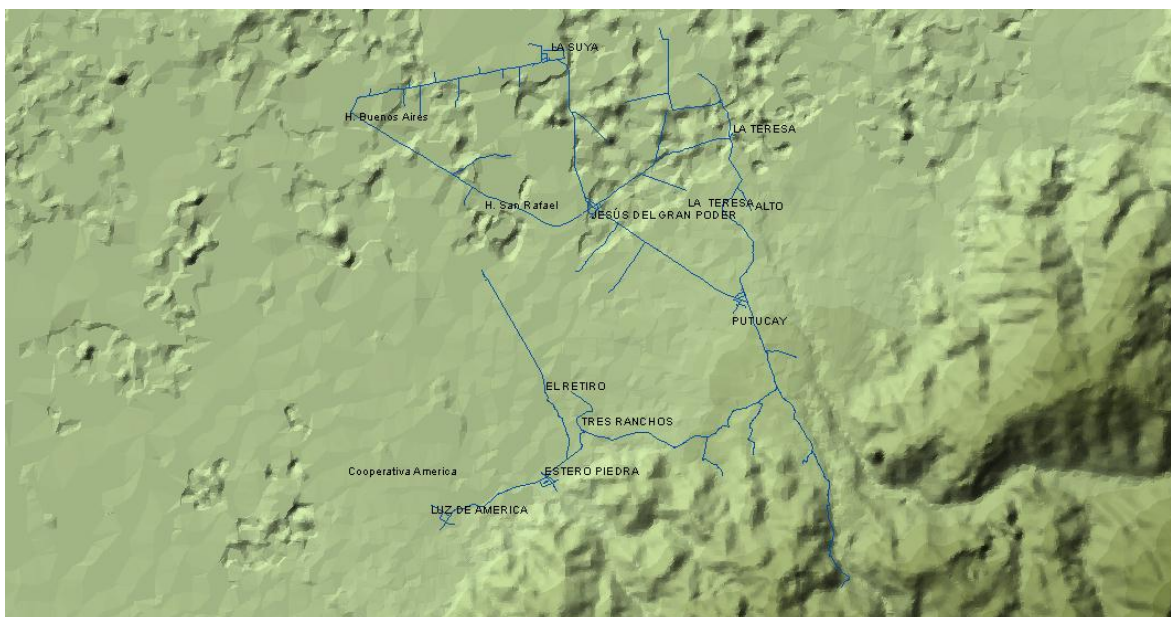
La temperatura es bastante estable en todo el año, con un pequeño pico inferior en el mes de julio de 23.8 °C y en noviembre con la temperatura más alta de 25 °C, sumando todos los obtenemos una media anual del sector es de 24.5 °C (26).

**Topografía de la zona.-** La red de agua potable se encuentra sobre una topografía plana y con pendientes bajas, sin dejar de mencionar que los cambios más grandes de elevación son desde la conducción hasta la planta de tratamiento, desde la cual también existe una pendiente pronunciada hasta llegar a La Teresa Alto, a partir de aquí es una red plana como veremos en la imagen 2.2.





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Fuente:** DEPARTAMENTO DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (ETAPA EP)

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 2.2:** SISTEMA JESÚS DEL GRAN PODER EMPLAZADO EN TOPOGRAFÍA

La topografía utilizada en el modelo fue obtenida a partir de una ortofoto a escala 1:10.000, con curvas de nivel cada 10 m. Considerando que la ubicación geográfica del sistema se encuentra en una zona costanera, la precisión de la topografía es aceptable para el estudio.

## **Análisis Socio - Económico**

### **Viviendas**

En el periodo de realización de los catastros se pudo observar que las viviendas son de dos plantas, levantadas con bloque y con terminados básicos de enlucido y pintura, de igual manera el terminado de los pisos es de cemento con un posterior paleteado o en otros casos alisado. En la imagen 2.3 se presenta la vivienda tipo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Fuente:** AUTOR

**Imagen 2.3:** VIVIENDA TIPO

### **Población actual**

El sistema de agua potable Jesús del Gran Poder brinda el servicio a aproximadamente 3385 habitantes de las diferentes comunidades, con un total de 677 domiciliarias catastradas.

El cálculo de la población actual se realizará en la sección 3.1 del presente documento, el mismo que muestra como resultado que en las viviendas existe un promedio de 5 personas por domiciliaria, esto permite obtener la población actual al multiplicar el número de domiciliarias por el promedio de personas obtenido.

### **Métodos de proyección de la población.**

Los métodos para calcular la población futura son importantes para un proyecto de abastecimiento de agua, ya que nos indican cuantas personas se van a ver beneficiadas en un determinado periodo tiempo, en otras palabras nos ayudan a establecer la *población de diseño*, la cual se determina a partir de la población actual.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Una forma de determinar la población futura de una comunidad es recurriendo a la base de datos que proporciona el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), tomando en cuenta los últimos dos censos disponibles para el proyecto. Sin embargo, la población del sistema de agua de Jesús del Gran Poder cuenta con la información catastral que fue realizada en este estudio, además se realizó un estudio estadístico para obtener un promedio del número de personas que habitan en cada una de las viviendas catastradas, lo cual brinda la certeza de establecer una población actual muy cercana a la realidad minimizando el nivel de incertidumbre de los cálculos matemáticos al momento de proyectar la población futura o de diseño.

Para el cálculo de la población de diseño o futura intervienen variables como: crecimiento histórico, variación de las tasas de crecimiento y características migratorias.

### **Metodologías de cálculo**

El conocimiento de la población futura es importante para áreas de estudio como la economía, la ingeniería, sociología, turismo, política, etc. Demandan por ejemplo, conocer la población total por edad y sexo, de tal forma que puedan ser competentes para determinar la capacidad potencial de consumidores, de mano de obra, de población estudiantil, de mercado, etc. Para el cálculo de la población, existen varias metodologías que se pueden utilizar dependiendo el tipo de enfoque que se le quiera dar al estudio, para el caso del presente estudio se usarán los métodos matemáticos.

### **Métodos Matemáticos**

Para el caso de sistemas de abastecimiento de agua potable los métodos matemáticos son muy utilizados, más aun cuando contamos con la población actual como en el presente estudio, donde las domiciliarias del sistema fueron catastrados totalmente. Los métodos matemáticos se fundamentan en ecuaciones que expresan el crecimiento demográfico en función de tres variables que son: el número de años a proyectarse, la tasa de crecimiento expresada como un porcentaje de cambio y la población actual (13). Los censos de la población que se hacen cada 10 años por parte del INEC nos brindan la tasa de crecimiento que tiene la parroquia Molleturo. También se puede recurrir directamente a las normas de diseño del país, que toman como punto de partida todos estos datos censales antes mencionados, como por ejemplo para Ecuador se utiliza el CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS. Una vez ya determinada la tasa de crecimiento, la población actual



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

y el periodo de diseño, se procede a calcular la población futura o de diseño con los diferentes métodos.

El INEC nos brinda una tabla de crecimiento inter-censal del 2001 al 2010, como se muestra en la imagen 2.4.

www.inec.gob.ec  
www.ecuadorencifras.com  
ECUADOR CUENTA CON EL INEC

**POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO INTERCENSAL DE 2010-2001-1990 POR SEXO, SEGÚN PARROQUIAS**

Código	Nombre de parroquia	2010			2001			1990			Tasa de Crecimiento Anual 2001-2010		
		Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	Total
	Nacional	7,177,683	7,305,816	14,483,499	6,018,353	6,138,255	12,156,608	4,796,412	4,851,777	9,648,189	1.96%	1.93%	1.95%
10153	CHAUCHA	617	680	1,297	771	862	1,633	878	902	1,780	-2.48%	-2.64%	-2.56%
10154	CHECA (JIDCAY)	1,182	1,559	2,741	1,126	1,572	2,698	1,438	1,888	3,326	0.54%	-0.09%	0.18%
10155	CHIKINTAD	2,251	2,575	4,826	1,833	2,240	4,073	2,034	2,391	4,425	2.28%	1.55%	1.88%
10156	LLACAO	2,487	2,855	5,342	2,041	2,460	4,501	1,594	1,732	3,326	2.20%	1.65%	1.90%
10157	MOLLETURO	3,681	3,485	7,166	2,641	2,580	5,221	2,714	2,479	5,193	3.69%	3.34%	3.52%
10158	MULTI	2,107	2,217	4,324	2,173	2,416	4,589	1,735	1,866	3,601	-0.34%	-0.96%	-0.66%
10159	OCTAVIO CORDERO PALACIOS	983	1,288	2,271	932	1,246	2,178	1,170	1,597	2,767	0.59%	0.37%	0.46%
10160	PACCHA	2,961	3,506	6,467	2,393	2,918	5,311	2,101	2,395	4,496	2.37%	2.04%	2.19%
10161	QUINGEO	3,421	4,029	7,450	2,526	3,120	5,646	2,441	3,192	5,633	3.37%	2.84%	3.08%
10162	RICAURTE	9,247	10,114	19,361	6,633	7,373	14,006	5,431	5,688	11,119	3.69%	3.51%	3.60%
10163	SAN JOAQUIN	3,522	3,933	7,455	2,438	2,688	5,126	2,498	2,699	5,197	4.09%	4.23%	4.16%
10164	SANTA ANA	2,472	2,894	5,366	2,244	2,495	4,739	1,983	2,254	4,237	1.08%	1.65%	1.38%
10165	SAYAUSI	3,943	4,449	8,392	3,142	3,501	6,643	3,299	3,444	6,743	2.52%	2.66%	2.60%
10166	SIDCAY	1,743	2,221	3,964	1,426	2,013	3,439	1,756	2,256	4,012	2.23%	1.09%	1.58%
10167	SININCA	7,277	8,582	15,859	5,713	6,937	12,650	7,159	7,910	15,069	2.69%	2.36%	2.51%

**Fuente: INEC**

**Imagen 2.4: POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO DE MOLLETURO**

También es importante reseñar que los métodos matemáticos tienen limitaciones (13), como son:

- Dificultad para establecer la función más adecuada que determine el comportamiento real de la población.
- No considera la estructura por edad de la población, según sexo y grupos de edad, y sus interrelaciones.

Dentro de los métodos matemáticos, tenemos:

### **Método Aritmético**

Este método de proyección de la población también se llama método de crecimiento lineal, ya que si revisamos el método desde un punto de vista analítico implica crecimientos absolutos constantes e independientes del tamaño que tenga



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

dicha población. Esto demográficamente no sucede ya que en la realidad una población no aumenta el número de personas en la misma magnitud a lo largo del tiempo (13).

Se recomienda no utilizar este método para la aplicación de plazos muy largos de tiempo, lo máximo recomendado para obtener proyecciones cercanas a la realidad es cuando se necesita la población para un periodo de tiempo de unos 6 meses (14).

La fórmula que describe el crecimiento aritmético de una población es la siguiente:

$$P_{fa} = P_a + r_a \cdot n$$

Ecuación 2-1

**Fuente:** DAVID OSPINA, MODELOS MATEMÁTICOS ELEMENTALES EN PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN

Dónde:

$P_f$ : Población de diseño o futura (habitantes).

$P_a$ : Población actual (habitantes).

$n$ = Periodo de diseño (años).

$r_a$ : Tasa de crecimiento de la población (habitantes/año).

La tasa de crecimiento se calcula a través de la siguiente expresión:

$$r_a = \frac{P_n - P_o}{n_{ra}}$$

Ecuación 2-2

**Fuente:** DAVID OSPINA, MODELOS MATEMÁTICOS ELEMENTALES EN PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN

Dónde:

$P_n$ : Población del último censo disponible.

$P_o$ : Población del censo anterior al último.

$n_{ra}$ : Número de años entre cada censo (años).



### Método Geométrico

El crecimiento de una población es geométrico si el aumento que tiene ésta es proporcional al tamaño de la misma. El método asume una tasa de crecimiento constante por unidad de tiempo.

La fórmula que describe el crecimiento geométrico de una población es la siguiente:

$$P_{fg} = P_a \times (1 + r_g)^n$$

Ecuación 2-3

**Fuente:** DAVID OSPINA, MODELOS MATEMÁTICOS ELEMENTALES EN PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN

Dónde:

$P_f$ : Población futura (habitantes).

$P_a$ : Población actual (habitantes).

$n$ : Periodo de diseño (años).

$r_g$ : Tasa de crecimiento geométrico de la población (%).

La tasa de crecimiento geométrico se calcula a través de la siguiente expresión:

$$r_g = \left( \frac{P_n}{P_o} \right)^{\frac{1}{n_g}} - 1$$

Ecuación 2-4

**Fuente:** DAVID OSPINA, MODELOS MATEMÁTICOS ELEMENTALES EN PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN

Dónde:

$P_n$ : Población del último censo disponible.

$P_o$ : Población del censo anterior al último.

$n_g$ : Número de años entre cada censo (años).

### Método exponencial





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

La variación del método geométrico es el método exponencial que se puede expresar de la siguiente manera (14):

$$Pfe = Pa \cdot e^{r_e \cdot n}$$

Ecuación 2-5

**Fuente:** DAVID OSPINA, MODELOS MATEMÁTICOS ELEMENTALES EN PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN

Dónde:

$Pf$ : Población futura (habitantes).

$Pa$ : Población actual (habitantes).

$n$ : Periodo de diseño (años).

$r_e$ : Tasa de crecimiento instantánea y puede ser calculada con la siguiente fórmula:

$$r_e = \frac{\log \left( \frac{P_n}{P_o} \right)}{n_e (\log e)}$$

Ecuación 2-6

**Fuente:** DAVID OSPINA, MODELOS MATEMÁTICOS ELEMENTALES EN PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN

Dónde:

$Pn$ : población del último censo disponible.

$Po$ : población del censo anterior al último.

$n_e$ : Número de años entre cada censo (años).

### Pobreza y desigualdad

Un gran porcentaje de la población se dedica directa o indirectamente a la agricultura, de lo cual obtienen quincenas que van desde los 150 a los 220 dólares



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

según el tipo de trabajo que desempeñen (Anexo 5), aparte de esto no reciben ningún beneficio como es la afiliación y el pago mensual al seguro social, utilidades, etc. Esta realidad repercute seriamente en los índices de pobreza de la zona, ya que el nivel de desigualdad que se presenta en estas comunidades es muy grande, por ejemplo entre los jornaleros y los dueños de las extensas fincas cacaoteras.

### Migración

Una consecuencia típica de la pobreza y de la desigualdad va a ser siempre la migración por lo que las nuevas generaciones que nacen en la zona buscan lugares de mayor desarrollo y con mejores oportunidades de vida. Para el caso de estas comunidades muchos escogen a Naranjal o Machala como su destino para obtener el buen vivir. El momento de separación de las familias es por lo regular cuando los jóvenes, tanto hombres como mujeres, llegan a la adolescencia y en casos extremos la separación se genera desde que salen de la escuela (Anexo 5).

### Servicios públicos existentes

Como dentro del estudio se encuentran 8 poblados con niveles de desarrollo diferentes, se presenta la tabla 2.1 que especifica todos los servicios que poseen cada uno de los pueblos. Dentro de la tabla 2.1 sólo constan los servicios que posee Jesús del Gran Poder, ya que el resto de comunidades tienen menos servicios básicos. Por ejemplo, ninguna comunidad posee un nivel de educación secundario, por eso las familias que quieren que sus hijos continúen con sus estudios los envían a colegios de la Troncal y luego a una universidad de Machala (Anexo 5).

Debido a que la mayoría de personas de la zona son de religión católica se incluyó una columna extra que nos muestra los poblados que cuentan con una capilla o iglesia.

<b>SERVICIOS PUBLICOS EXISTENTES</b>									
Nro.	POBLADOS	Agua Potable	Alcantarillado	Luz eléctrica	Escuela	Sub centro de salud	Unidad de Policía Nacional (UPC)	Canchas Deportivas	Iglesia
1	Jesús del Gran Poder	100%	100%	100%	SI	SI	SI	SI	SI
2	Estero Piedra	80%	90%	100%	SI	NO	NO	SI	SI
3	Putucay	100%	95%	100%	SI	SI	NO	SI	SI





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

4	Luz de América	100%	0%	100%	SI	NO	NO	SI	SI
5	La Suya	100%	75%	100%	SI	NO	NO	NO	SI
6	La Compue rta	100%	0%	100%	SI	NO	NO	NO	SI
7	La Teresa	100%	0%	100%	SI	NO	NO	NO	NO
8	Tres Rancho s	100%	0%	100%	NO	NO	NO	NO	NO

**Fuente:** ENTREVISTA ING. MARCELO MENDIETA

**Tabla 2. 1:** TABLA DE SERVICIOS

La información presentada en la tabla de servicios fue proporcionada por el administrador de la planta de tratamiento Jesús del Gran Poder Ing. Marcelo Mendieta supervisor de plantas de tratamiento de sistemas rurales de la empresa ETAPA EP (Anexo 5).

### Salud y aspectos sanitarios

Para las personas beneficiadas por el servicio de agua potable y alcantarillado dado por ETAPA EP existe un antes y un después desde que se realizó su respectiva construcción. Según (Anexo 5) el sub-centro de salud de Jesús del Gran Poder registró que las enfermedades generadas en los niños han disminuido en un 90% desde que se incorporaron los servicios de agua potable, el 10% de las enfermedades que continúan dándose en los niños se deben a la mala práctica o falta de higiene personal.

En lo que corresponde a atención médica no se cuenta con hospitales ni centros de salud que puedan atender emergencias correspondientes a accidentes graves o enfermedades de medio y alto riesgo. El sub-centro de salud disponible cuenta con dos médicos generales, una enfermera, un dentista, y una dotación básica de medicamentos en el área de farmacia. En el caso de cualquier tipo de emergencia como: picadura de culebra, accidentes laborales, o de tránsito, que son los más comunes es necesario trasladarse al sub-centro de salud de San Carlos ubicado a 6 km de La Suya en dirección noroeste o en su defecto al hospital de la Troncal (Anexo 5).



### Actividades económicas

La principal actividad económica a la cual se dedica esta zona perteneciente a la parroquia Molleturo es predominantemente la agricultura en un 90% y un 10% en otras actividades como: quehaceres domésticos, negocios propios, y empleados públicos.



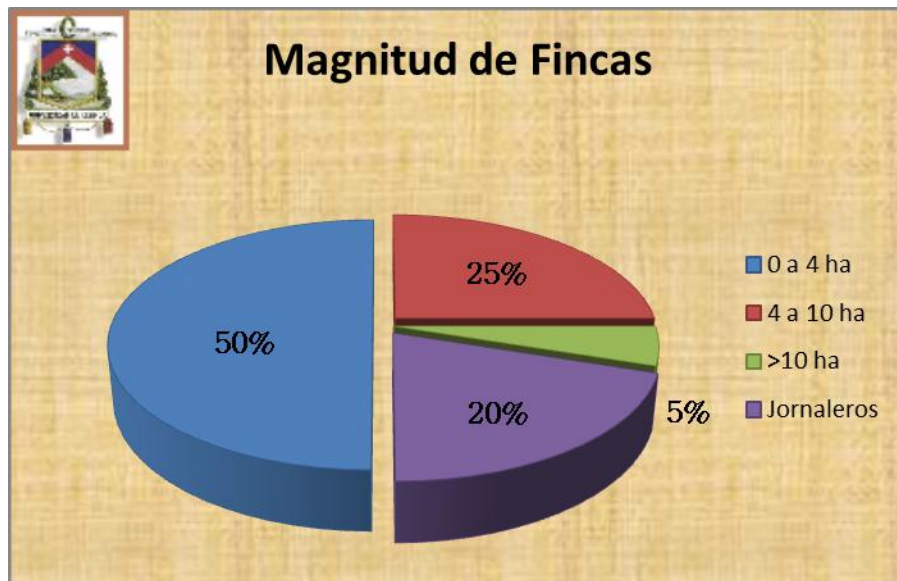
**Fuente:** ENTREVISTA ING. MARCELO MENDIETA

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 2.5:** ACTIVIDADES ECONÓMICAS GENERALES

El 90% de personas económicamente activas se dedican a la agricultura, el 100% de este porcentaje se enfocan a la producción de cacao en fincas propias o como jornaleros, de este el 50% poseen fincas hasta de 4 hectáreas, el 25% de 4 a 10 hectáreas, y el 5% tienen propiedades que sobrepasan las 10 hectáreas. El 20% restante cumplen funciones de jornaleros ganando aproximadamente 15 dólares diarios (Anexo 5).

Para apreciar mejor la distribución en cuanto a la extensión de fincas se presenta la imagen 2.6.



**Fuente:** ENTREVISTA ING. MARCELO MENDIETA

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 2.6:** DIVISIÓN POR EXTENSIÓN DE FINCAS

## 2.2. Redes de abastecimiento de agua potable

Las redes de distribución son un conjunto de elementos que se encuentran interconectados para formar una ruta de traslado del agua desde el punto de alimentación (planta de tratamiento) hasta los consumidores, siempre y cuando se generen condiciones de: funcionalidad, seguridad, y de cobertura óptimas (24).

La red de abastecimiento de agua potable analizada en este estudio se trata de una red mixta, lo que quiere decir es que comparte características de redes tipo ramificada y mallada, las cuales están definidas a continuación:

**Ramificada.-** Tienen forma de raíces de árboles, se caracterizan debido a que el agua tiene un sólo trayecto a lo largo de toda la red, o sea desde la captación hasta el consumidor. Éste tipo de redes son muy comunes en sistemas de riego, y zonas de playa. Lo más beneficioso de estas redes es que para conocer el caudal que circula por una tubería sólo es necesario aplicar la ecuación de la continuidad en cada nudo, junto con la ecuación de la energía (7).

**Mallada.-** Estas están conformadas por circuitos cerrados formados por varias tuberías. Nos brinda una mayor estabilidad en el sistema que el de las redes que



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

son ramificadas, debido a que el líquido tiene distintos caminos para llegar al punto deseado, generando así una tendencia a auto equilibrar las presiones existentes (7).

**Mixta.-** Este tipo de redes son las más comunes y que más se construyen para sistemas de agua potable. Se componen de mallas conectadas por arterias o tuberías principales y sus respectivas ramificaciones que cumplen la función de llegar hasta cada consumidor (24).

### **Representación física de la red**

**Elemento.-** No es más que un componente de la red, sin unión con el exterior, cuyo comportamiento hidráulico se encuentra definido de acuerdo con su función en la red.

**Nudos.-** Es un punto de convergencia de las tuberías que sirve para cambiar las características de la red, como su diámetro, material, ramificaciones y también sirven como puntos de la red donde pueden acontecer descargas o salidas de agua. Estos puntos son claves para revisar las presiones del sistema.

**Tuberías (Pipes).-** Son un conjunto de conductos que cumplen la función de transportar el agua desde el punto de alimentación hasta los usuarios, y que puede estar fabricada de diversos materiales (PVC, polietileno, fibrocemento, aluminio, acero, hormigón).

**Válvulas de corte (Isolation valves).-** Tienen la función de abrir o cerrar el paso del flujo que quiere pasar hacia una determinada zona del sistema.

**Válvulas reductoras de presión (PRV).-** Como su nombre lo dice son válvulas que ayudan a controlar presiones altas que pueden existir en la red. Al momento de *simular el funcionamiento* del sistema en el programa WaterGems, éste se encarga de encontrar la presión en cada punto del sistema, de tal forma que se pueden identificar las zonas con presiones altas y de esta manera establecer la ubicación de estos componentes.

**Accesorios.-** En una red de distribución se tienen accesorios como tes, codos y reductores de sección de tuberías, la pérdida de carga que ellos generan es calculada automáticamente por el software.

**Reservorios (Reservoirs).-** Por lo regular la fuente externa de alimentación que entra dentro de la modelación de un sistema es el tanque de reserva perteneciente a la planta de tratamiento, pero como la evaluación es para un flujo permanente, es suficiente modelar como si el suministro de agua proviniera de un reservorio, el



cual tiene una capacidad ilimitada del recurso. Este elemento se representa como un lago, río, acuífero, etc.

### 2.3. Análisis hidráulico de tuberías

En las redes de agua existe una relación compleja entre sus características específicas como son: longitud, diámetro, caudales, material, etc.; es por eso que se realiza el análisis y simulación de una red, permitiéndonos entender cómo funciona la fusión de todas estas variables simultáneamente. El análisis y simulación de un sistema nos permite desarrollar las siguientes aplicaciones:

- Potencialidades y limitantes del sistema de distribución.
- Evaluar la capacidad de conducción de la red.
- Conocer el comportamiento de los sistemas de distribución de agua.
- Planes de manejo ante diferentes escenarios posibles.

Existen dos análisis que son los más comunes para la modelación y evaluación de sistemas de agua potable, a) **análisis de flujo permanente**, y b) **el análisis de flujo no permanente**. Para evaluar el comportamiento hidráulico de una red donde se tiene como datos los diámetros, longitudes y material (coeficiente de fricción) se utiliza un análisis de flujo permanente con la finalidad de obtener información relacionada a la presión en los nudos y a las pérdidas que se generan a lo largo de las tuberías (25).

#### Flujo Permanente (Análisis estático).

Para este tipo de análisis es necesario determinar las cargas y las pérdidas que se obtienen gracias a la aplicación de los principios de conservación de la energía y de la masa (25).

*Ecuación general de la conservación de la energía.*

Esta ecuación es utilizable sólo para el análisis de una tubería a presión como se muestra en la imagen 2.7, la tubería tiene una longitud  $L$  con dos secciones cualesquiera  $s$  y  $i$ , lo que nos da la siguiente expresión:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

$$z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} = z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} + h_f$$

Ecuación 2-7

**Fuente:** ROBERT L. MOTT, MECÁNICA DE FLUIDOS (SEXTA EDICIÓN)

**z**= elevación con respecto a un plano de referencia (m).

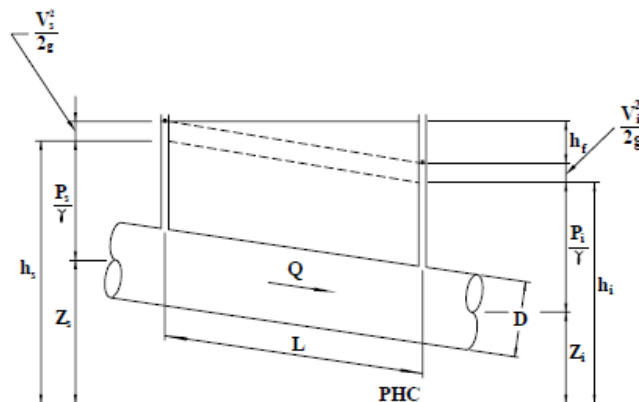
**p**= presión en el centro de la sección (kPa).

**v**= velocidad media (m/s).

**γ**= peso específico del agua (kN/m<sup>3</sup>).

**g**= aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

**h<sub>f</sub>**= pérdida de carga por rozamiento con las paredes de la tubería (N\*m/N).



**Fuente:** COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (MÉXICO); MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO.

**Imagen 2.7:** CARGAS EN LOS EXTREMOS DEL TUBO

Ahora desarrollamos las siguientes igualdades:

$$h_s = z_s + \frac{p_s}{\gamma}$$

Ecuación 2-8

$$h_i = z_i + \frac{p_i}{\gamma}$$

Ecuación 2-9

Sustituyendo estas ecuaciones en la ecuación 2.7, tenemos:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

$$h_s + \frac{v_s}{2g} = h_i + \frac{v_i}{2g} + h_f$$

Ecuación 2-10

En el caso particular de que las secciones transversales sean iguales, el principio de continuidad nos muestra que  $A_s v_s = A_i v_i$ , consecuentemente las velocidades que se obtendrán en estas dos secciones serán las mismas  $v_s = v_i = v$ . Además la ecuación 2.10 se reduciría de la siguiente forma:

$$h_f = h_s - h_i$$

Ecuación 2-11

Esta expresión indica que la pérdida de carga  $h_f$  es igual a la caída de carga que se da a lo largo de la longitud  $L$  entre las secciones analizadas. Cuando el fluido atraviesa una tubería sufre una pérdida de carga debido al movimiento del mismo, y que depende de la velocidad de flujo  $v$ , del diámetro  $d$ , de la longitud  $L$ , la rugosidad de tubería, la densidad  $\rho$  y la viscosidad  $\mu$  del fluido.

### Fórmula de Darcy – Weisbach

Para obtener la pérdida de carga  $h_f$  se utiliza la ecuación 2-12 que considera la velocidad y viscosidad del fluido, como también características de la tubería en sí (23). La fórmula es la siguiente:

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 2-12

**Fuente:** ROBERT L. MOTT, MECÁNICA DE FLUIDOS (SEXTA EDICIÓN)

$f$ = Coeficiente de rugosidad (adimensional).

$L$ = Longitud de la corriente del flujo (m).

$d$ = diámetro de la tubería (m).

$v$ = velocidad de flujo en la tubería (m/s).

$g$ = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

El factor más importante a considerar y que se debe tratar con mayor cuidado es el coeficiente de rugosidad, el cual es dependiente de la rugosidad que tienen paredes interiores de la tubería, aquí se involucra el factor  $\epsilon$  referido a la rugosidad





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

absoluta. Otros parámetros como el diámetro de la tubería, la velocidad de flujo y la viscosidad del fluido determinan la rugosidad relativa ( $\varepsilon/d$ ) y también el número de Reynolds.

Número de Reynolds 
$$R = \frac{Vd}{\nu^2}$$

Ecuación 2-13

**Fuente:** ROBERT L. MOTT, MECÁNICA DE FLUIDOS (SEXTA EDICIÓN)

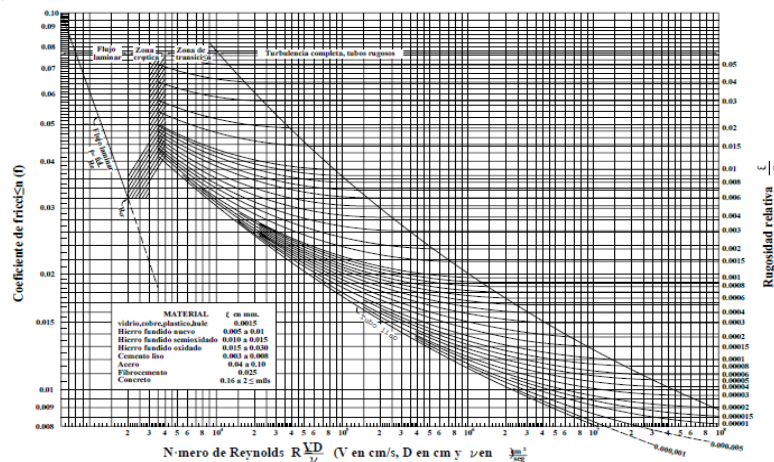
El **diagrama de Moody** que se presenta en la imagen 2.8, nos ayuda a determinar de forma más sencilla la rugosidad equivalente  $\varepsilon$ , la cual también se puede obtener de los catálogos que se producen por parte de algunos fabricantes, los cuales señalan las características de sus diferentes tipos de tuberías.

La ecuación principal con la que se desarrolló el ábaco de Moody es la de Colebrook y Withe. La ecuación desarrollada se enfoca en el flujo turbulento que se genera en las redes de agua potable, ya que es lo más común que sucede en la realidad (23). La ecuación es la siguiente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{R\sqrt{f}} \right)$$

Ecuación 2-14

**Fuente:** COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (MÉXICO); MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO.



**Fuente:** ROBERT L. MOTT, MECÁNICA DE FLUIDOS (SEXTA EDICIÓN)

**Imagen 2.8:** DIAGRAMA DE MOODY

**Conjunto de tuberías**



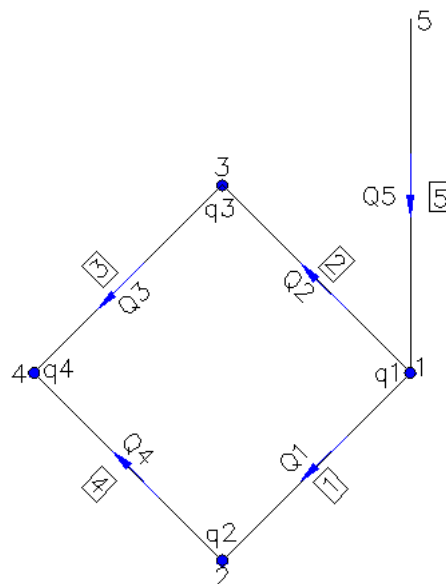


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Anteriormente analizamos cómo se comporta un fluido dentro de una tubería, pero en el caso de una red es necesario tomar en cuenta otras variables que se presentan y afectan la conducta del flujo.

Para un sistema de tuberías se considera el principio de continuidad que nos dice que: “en un nudo, la suma de los gastos que entran a él es igual a la suma de los gastos que salen del mismo” (23). Al tomar en cuenta este concepto de continuidad y emplearlo en cada uno de los nudos se nos presenta un sistema de ecuaciones lineales en términos de los gastos, lo cual representa una cantidad bastante amplia de ecuaciones que depende del tamaño de la red. WaterGems nos facilita el cálculo de las presiones en los nodos, gastos en las tuberías y toda la información necesaria para una evaluación de un sistema. De todas maneras a continuación se muestra como se genera el sistema de ecuaciones de una red de tuberías según (23).

En la imagen 2.9, se muestra una red con cinco tuberías y cinco nudos, los cuales están numerados de acuerdo a la dirección de flujo, donde la carga en el nudo 5 es conocida. Además, se nombran a los gastos que ingresan a la red con la letra (q) minúscula, que también están debidamente numerados de acuerdo al nudo en el que se encuentren. Los gastos que se generan en las tuberías están representados por la letra (Q) mayúscula y numerados con el mismo criterio que los nudos.



**Fuente:** AUTOR

**Imagen 2.9:** SISTEMA CERRADO DE TUBERÍAS



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Al analizar todos los nudos como parte de una red de tuberías hay que tomar en cuenta los gastos que ingresan y que salen de los mismos. Las ecuaciones del sistema quedarían de la siguiente manera.

$$\left. \begin{aligned} -Q_1 - Q_2 + Q_5 &= q_1 \\ -Q_4 + Q_1 &= q_2 \\ -Q_3 + Q_2 &= q_3 \\ Q_3 + Q_4 &= q_4 \end{aligned} \right\} \sum Q_j = q_n$$

$j = \#$  de tubos.

$n = \#$  de nudos conectados a las tuberías

Para poder calcular los gastos  $Q$  es necesario tener las siguientes consideraciones:

$$Q = \begin{cases} k(h_s - h_i)^{1/2} & \text{si } h_s \geq h_i \\ -k(h_s - h_i)^{1/2} & \text{si } h_s < h_i \end{cases}$$

Ecuación 2-15

Si sustituimos estos términos que están en función de las cargas que tenemos en las tuberías dentro de las ecuaciones de los gastos obtenemos como resultado un sistema de ecuaciones no lineal, y las incógnitas de las ecuaciones nuevas vendrían a ser  $h_1, h_2, h_3$  y  $h_4$  ya que la carga en el nudo 5 es conocida y sirve como base para el cálculo de las demás (23). Luego sólo es necesario resolver el sistema en busca de las cargas  $h$ , para conseguir los gastos utilizando la ecuación 2-15. Con estos cambios la fórmula general del sistema de ecuaciones para un conjunto de tuberías es:

$$\sum F_j(h) = q_n$$

Ecuación 2-16

$j = \#$  de tubos.

$n = \#$  de nudos conectados a las tuberías



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Donde  $F(h)$  es la función no lineal de las cargas que se presentan en los extremos de cada una de las tuberías.

El análisis hidráulico de las tuberías del sistema de agua potable de Jesús del Gran Poder se lo realizará mediante una herramienta informática. El software a utilizarse será **WaterGems V8i SELECTseries 1**.

## 2.4. Manejo del software ArcMap

Para la comprensión del manejo y funcionamiento de este programa se explicarán las bases conceptuales que éste abarca, basándonos en libros como el de Joaquín Bosque Sendra "Sistemas de Información Geográficas" y también en manuales como el "Tutorial de prácticas ArcGIS versión 9.2" escrito por el cuencano Paúl Ochoa, además de otras referencias.

El ArcMap es un programa que maneja Sistemas de información Geográfica (SIG). Un SIG, se puede definir como *"un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas de la planificación y gestión"* (1).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, por sus siglas en inglés) forman parte de los Sistemas de Información (S.I.). Para definir los sistemas de información nos apoyaremos en Sendra que en el año 2000 dijo que un sistema informático está creado para dar respuesta a preguntas no predefinidas anteriormente (22). Lo que quiere decir que un S.I. incluye una base de datos, un conjunto de procedimientos de análisis y manipulación de datos, como también de un sistema de interacción con el usuario (20).

Un SIG es capaz de almacenar información cartográfica y alfanumérica, con la información cartográfica se puede realizar la localización exacta de cada uno de los elementos en el espacio y con respecto a otros elementos, esto se llama **topología**, con la información alfanumérica, se obtienen datos sobre los atributos de cada elemento geográfico, almacenando esta información en una **tabla de atributos** (20).

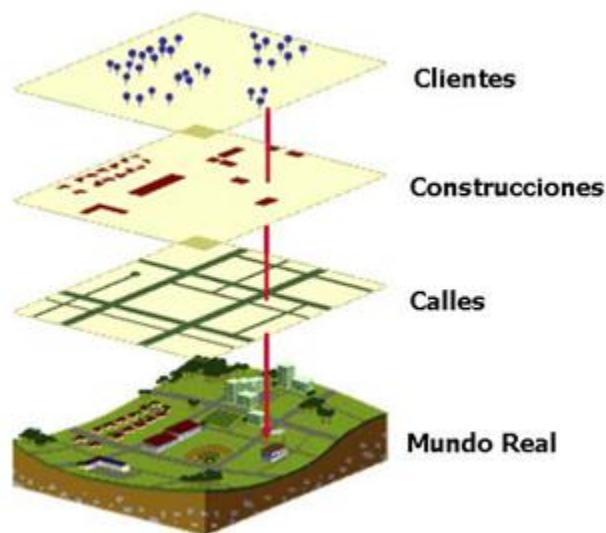
Toda la información cartográfica se estructura por lo regular en un sin número de mapas temáticos, dependiendo siempre de que campos espaciales se quieran analizar. Así mismo, un SIG descompone la realidad en distintos temas (layer, con



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

su palabra en inglés), es decir, en distintas capas o estratos de información de la zona correspondiente: el relieve, los suelos, los ríos, las carreteras, los predios, las construcciones, los límites administrativos, los límites políticos, las redes eléctricas, redes telefónicas, las de agua potable, las de alcantarillado, etc. Lo cual brinda una capacidad de edición seccionada para el usuario, que a la final se resume en un poder organizativo muy detallado para cada estudio. La ventaja de los SIG es que pueden relacionar o disgregar las distintas capas entre sí, con el objetivo de desarrollar cualquier tipo de procesos con sus respectivas bases de datos, lo que concede a estos sistemas un inmenso potencial de análisis. Los mapas almacenados o guardados en un sistema operativo pueden ser objeto de consultas muy complejas o ser combinados algebraicamente para producir mapas derivados, disgregando la información al placer del analista, obteniendo que se representen situaciones reales o hipotéticas, que permitan tener un conocimiento profundo de cuál es la problemática (20).



**Fuente:** TUTORIAL DE PRÁCTICAS ARCGIS VERSIÓN 9.2

**Imagen 2.10:** DESCOMPOSICIÓN POR CAPAS DE UN SIG

Con el entendimiento de las utilidades y virtudes de un SIG podemos concluir que la característica principal de este sistema, es que otorga al usuario una gran capacidad de análisis, a tal punto de poder generar nueva información partiendo de la manipulación de un conjunto previo de datos, que programas de dibujo como el CAD (Computer Aided Design) no permite (2).



## **Funciones de un SIG**

Un SIG, tiene una gama de utilitarios que pueden representarse a través de funciones como:

### **Funciones para la Entrada de Información**

Se refiere a los procedimientos que se deben desarrollar para convertir la información geográfica del formato analógico, al formato digital que puede ser cargado directamente a un ordenador. Esta conversión se debe realizar de tal manera que se mantengan todas las características iniciales de los datos espaciales. Por ello, en este subsistema encargado de la entrada de información se incluyen no sólo los mecanismos de entrada propiamente dichos (digitalización y similares), sino también los procedimientos de eliminación de errores o redundancias en la información incorporada al Sistema de Información Geográfica, importantes al momento de manipular los datos para tener la seguridad de estar manejando una información real (20).

### **Funciones para la salida, representación gráfica y cartografía de la información**

Establecen las diferentes actividades que permiten presentar al usuario los datos que ha desarrollado en su base de datos del SIG, involucrando a los resultados de las operaciones analíticas realizados sobre ellos. Lo que le compete a representación gráfica de y cartográfica es la obtención de mapas, gráficos, tablas numéricas y otros tipos de resultados en diferentes soportes: papel, pantallas gráficas u otros (20).

### **Funciones de Gestión de la Información Espacial**

Es la función clave para extraer la información de las diferentes bases de datos que se encuentren cargadas en el sistema para utilizarla en cualquier momento, tomando en cuenta la factibilidad de reorganizar todos los elementos que se le sean integrados de la forma más conveniente para el usuario (20).

### **Funciones Analíticas**

Son el elemento más característico de un Sistema de Información Geográfica, le da un gran poder al sistema y es que permite que el procesamiento y manipulación de las bases de datos se facilite de modo que sea posible obtener la mayor información, y a mayor información mayor será el conocimiento que se pueda conseguir. Esta variedad de funciones convierten a un S.I.G. en una máquina de simulación (20).



## El dato geográfico en un SIG

La imagen 2.11, presenta el proceso de integración que realiza un Sistema de Información Geográfica para cada dato se es ingresado:



**Fuente:** TUTORIAL DE PRÁCTICAS ARCGIS VERSIÓN 9.2

**Imagen 2.11:** INTEGRACIÓN DE DATOS GEOGRÁFICOS

- Las características espaciales de las entidades geográficas (geometría o localización absoluta y la topología o relaciones cualitativas entre los elementos)
- Los aspectos temáticos alfanuméricos asociados a las entidades geográficas.

Este proceso de integración de los datos que ingresan al sistema marca la diferencia entre un Sistema de Información Geográfica y un programa de cartografía asistido por ordenador, y esto radica en la información topológica incluida en la base de datos de un Sistema de Información Geográfica que le permite desarrollar análisis y operaciones complejas con los datos espaciales, en tanto que un programa de cartografía sólo emplea la referenciación absoluta para preparar los mapas.

## Tipos de entidades geográficas

Existen dos tipos de entidades geográficas que permiten la diferenciación entre los fenómenos que se presentan en la realidad, que son los naturales y los artificiales.

- Entidades geográficas naturales, son aquellas donde la referencia espacial es intrínseca al propio hecho o variable observado; ejemplo la delimitación de las construcciones, vías, ríos, etc (20).



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- Entidades geográficas artificiales, son las impuestas por el hombre y la referencia espacial es extrínseca y ajena al fenómeno medido en ella; ejemplo: la división política administrativa del territorio: provincias, cantones y parroquias (20).

### Dimensiones topológicas de las entidades geográficas

Debido a que existen diferentes elementos geográficos que poseen propiedades geométricas y que al mismo tiempo son topológicas, el SIG clasifica a cada una de estas propiedades dándoles un número de dimensionamiento específico como se presenta en la imagen 2.12.

Objetos Geográficos	# Dimensiones topológicas
Puntos	0
Líneas	1
Polígonos	2
Volúmenes	3

**Fuente:** TUTORIAL DE PRÁCTICAS ARCGIS VERSIÓN 9.2

**Imagen 2.12:** DIMENSIONAMIENTO DE ENTIDADES GEOGRÁFICAS

La dimensión topológica va a variar dependiendo del tipo de presentación que se le quiera dar, o sea que, si quiero cambiar la escala de presentación del mapa, un mismo objeto que se encuentre dentro del plano varía sus dimensiones topológicas al momento de plasmarlo en un papel. Por lo tanto, para cada escala de representación se tienen distintos mapas de puntos, líneas, áreas, etc.

En un mapa topográfico se diferencian unidades de observación de los distintos tipos mencionados (20).



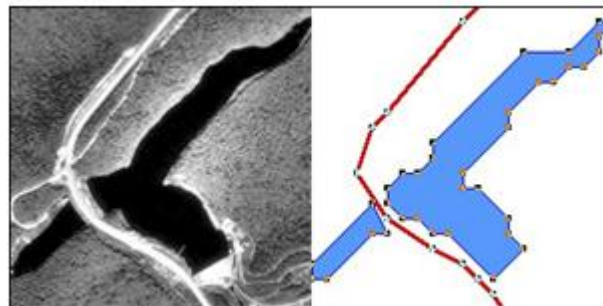
UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- Objetos puntuales pueden ser las casas rurales mostradas con un cuadro negro, o los vértices geodésicos indicados con un triángulo.
- Objetos lineales son las carreteras y caminos, o los cursos de los ríos o canales.
- Objetos poligonales, serían, por ejemplo, las distintas regiones del mapa diferenciadas por el tipo de ocupación del suelo: pajonal, bosques, sembríos, etc.
- Objetos volumétricos, presentes en los modelos tridimensionales del terreno como: relieve del territorio, cuencas hidrográficas, etc.

### Modelos de representación de la información espacial

La representación de la información espacial, que no es más que la realidad de nuestro entorno, puede ser generada por dos modelos que son: el modelo vectorial y el modelo raster (21).

El modelo vectorial va registrando los datos por medio de las diferentes fronteras de los elementos geográficos, los cuales se delimitan a través de líneas trazadas entre puntos de cambio, cuyas coordenadas están proyectadas en un sistema de coordenadas de la zona correspondiente, por ejemplo coordenadas UTM.



**Fuente:** TUTORIAL DE PRÁCTICAS ARCGIS VERSIÓN 9.2

**Imagen 2.13:** REPRESENTACIÓN VECTORIAL

En el modelo Raster ya no se registran las fronteras que posee el mundo análogo con sus respectivos objetos espaciales sino su contenido, quedando sus límites implícitamente representados por el cambio de sus características, para ello se compone una gran malla regular de celdas, que por lo general son cuadradas,

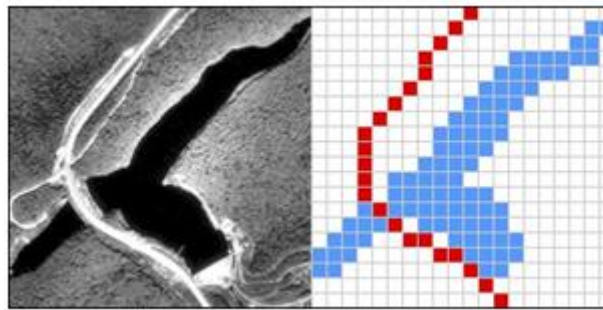




UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

asignando a cada celda un valor numérico que representa el atributo que está registrando, mientras que la georeferenciación de cualquier punto encontrado viene definida por la posición de la celda con respecto a un sistema de coordenadas ya expuesto anteriormente. Cada cuadrado se denomina “píxel”, a la cantidad de pixeles que encajan en una unidad de medida se denomina resolución de la imagen, tal como funcionan las televisiones (20).

Dependiendo del tipo de datos que se dispone o se desea trabajar, y de la complejidad de los procesos que se quieran desarrollar, es recomendable utilizar uno u otro tipo de modelo. Hoy en día ArcMap trabaja con ambos.



**Fuente:** TUTORIAL DE PRÁCTICAS ARCGIS VERSIÓN 9.2

**Imagen 2.14:** REPRESENTACIÓN RASTER

La representación vectorial tiene mayor utilidad cuando se la realización de gráficos y mapas precisos y documentos que necesiten una representación visual más nítida de la realidad, y además está más de acuerdo con la cartografía tradicional, y por ello resulta más intuitiva y fácil de percibir. Es más compacta en cuanto al volumen de almacenamiento que necesita y más exhaustiva la información disponible, ya que la topología está descrita más completa y explícitamente. Desde otra perspectiva también se pueden realizar operaciones y análisis espacial, que son más sencillos y rápidos de efectuar con la organización vectorial, pero para poder conseguir estas ventajas es necesario partir de una organización de los datos compleja que involucra una considerable cantidad de cálculos largos, y a su vez vienen a ser muy laboriosos de realizar para actualizar la base de datos, con esto el más pequeño de los cambios que se haga en la base de datos implica modificar varios elementos (20).

El lado positivo de un modelo raster es que tiene una organización muy simple de los datos, permitiendo realizar con gran amplitud diferentes procesos de análisis. Por ejemplo, la superposición de mapas es muy sencilla y fácil de programar mediante operaciones con matrices. Ahora por otro lado viene su principal inconveniente, que al contrario de un modelo vectorial es el gran volumen de



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

almacenamiento que requiere, en especial si es necesario disponer de una representación muy detallada, lo que exige disminuir el tamaño del pixel para obtener una mejor resolución. Por este tipo de aspectos resulta muy importante el desarrollo de procedimientos que disminuyan o compriman el volumen de almacenamiento al necesario. Por último el modelo raster no reconoce explícitamente la existencia de objetos geográficos, que son en principio el fundamento de un SIG por lo cual este tipo de modelo tiene pocos beneficios para su empleo (20).

### **El modelo vectorial Arco Nodo**

Un modelo vectorial se puede registrar mediante varias estructuras de datos. Las más importantes son:

- Lista de Coordenadas, Diccionario de Vértices.
- Organización DIME, y estructura Arco Nodo (22).

La más completa y confiable de las dos es la de Arco Nodo, es por eso que varios paquetes informáticos entre los cuales está el ArcGIS usan este tipo de estructuras de datos.

El elemento básico dentro del modelo vectorial Arco Nodo es el arco formado por una sucesión de segmentos rectos, que tienen como propiedad principal la misma topología. Un segundo elemento es el nudo, que se forman en el vértice de la unión de tres o más arcos, y además también se puede formar en el punto terminal de una línea o arco.

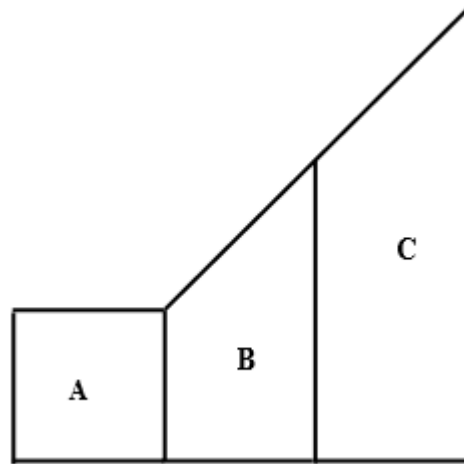
En esta estructura creada por arcos y nudos los polígonos se codifican por medio de los arcos que les rodean, a su vez los arcos se registran indicando el nudo de salida, el nudo de llegada, el polígono de la izquierda y el polígono de la derecha. Para la georeferenciación se toman las coordenadas de todos los puntos, tanto de los nudos como de los vértices normales.

Un objeto puntual se codifica como un nudo y como un arco. En caso de existir figuras dentro de un polígono, los arcos y nudos se registran con signo negativo para indicar esta circunstancia. Así mismo las tablas de topología permiten realizar algunos tipos de análisis como la continuidad de polígonos, y la existencia de objetos geográficos al interior de un polígono (20).

Para entender de mejor manera el proceso que realiza el software supongamos que se quiere ingresar como modelo vectorial arco nudo los siguientes polígonos.



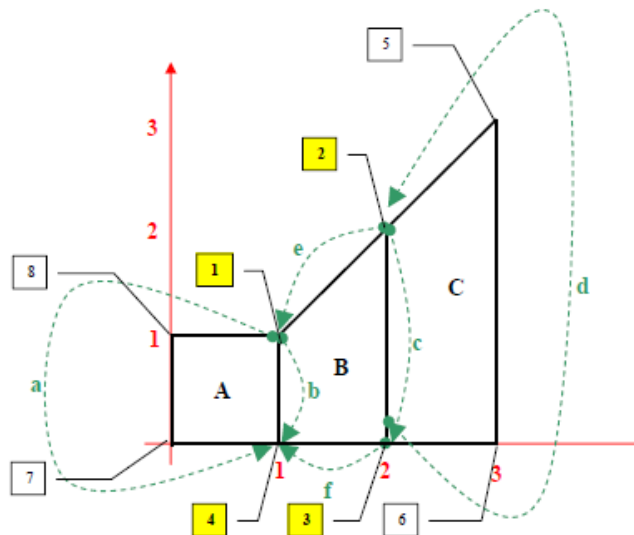
UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Fuente:** TUTORIAL DE PRÁCTICAS ARCGIS VERSIÓN 9.2

**Imagen 2.15:** ENTIDADES GRÁFICAS (POLÍGONOS)

Para ello se identifican y asignan primeramente los nudos (en amarillo), los cuales vienen a ser los vértices a los que llegan 3 o más segmentos rectos, luego se identifican los arcos (en verde), tomando la secuencia de segmentos que conectará dos arcos, tal como se observa en la imagen 2.16.



**Fuente:** TUTORIAL DE PRÁCTICAS ARCGIS VERSIÓN 9.2

**Imagen 2.16:** APLICACIÓN AL MODELO ARCO NUDO

A continuación se presentan tablas de Excel que se forman al intersectar toda la nomenclatura presentada en la imagen 2.17, y que tienen los siguientes valores:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DESCRIPCIÓN DE ARCOS Y VERTICES				
ARCO	NODO ORIGIN	VERTICES INTERMEDIOS	NODO FINAL	
a	1: 1,1	8: 0,1; 7: 0,0	4: 1,0	
b	1: 1,1		4: 1,0	
c	2: 2,2		3: 2,0	
d	3: 2,0	6: 3,0; 5: 3,3	2: 2,2	
e	2: 2,2		1: 1,1	
f	3: 2,0		4: 1,0	

TOPOLOGÍA DE ARCOS				
ARCO	NODO ORIGIN	NODO FINAL	POLIGONO DERECHA	POLIGONO IZQUIERDA
a	1	4	EXT	A
b	1	4	A	B
c	2	3	B	C
d	3	2	EXT	C
e	2	1	EXT	B
f	3	4	B	EXT

TOPOLOGIA DE POLIGONOS	
POLIGONO	ARCOS
A	a, b
B	e, b, f, c
C	c,d

TOPOLOGIA DE NODOS	
NODOS	ARCOS
1	a, e, b
2	e, c, d
3	d, c, f
4	f, b, a

**Fuente:** TUTORIAL DE PRÁCTICAS ARCGIS VERSIÓN 9.2

**Imagen 2.17:** NOMENCLATURA DE NODOS

- En la primera tabla de “Descripción de arcos y vértices”, se toma como el punto de partida cualquiera de los dos nudos que delimitan un arco.
- En la tabla de “Topología de Arcos” se comienza con la misma asunción, que implica la selección del polígono de la derecha o izquierda, y para poder escoger cuál de los dos va a continuación, se ha considerado que el **nudo origen** resulta punto de partida de un recorrido virtual que haría un observador dirigiéndose al nudo final, consiguiendo con esto que a mano izquierda o derecha se ubicarán determinados polígonos (20).

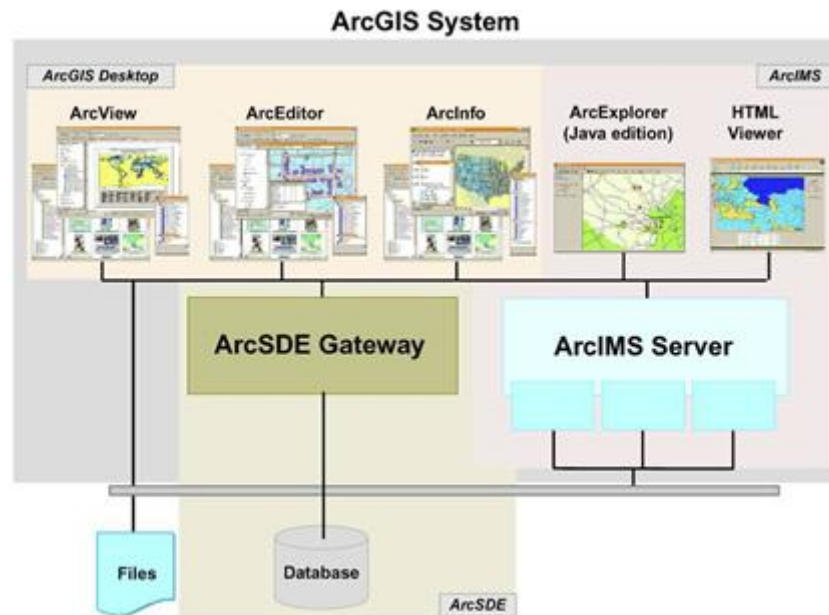
## La aplicación ArcGis

Los componentes integrables de un Sistema de Información Geográfico son:

- ArcGIS Desktop, en cualquiera de sus categorías: ArcView, ArcEditor o ArcInfo.
- ArcSDE gateway, es un interface para la gestión de geo-data-bases, ya que vincula ArcGis con bases de datos externas.
- ArcIMS, es una modalidad de SIG, para publicación de datos en Internet.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Fuente:** WHAT IS ARCGIS?

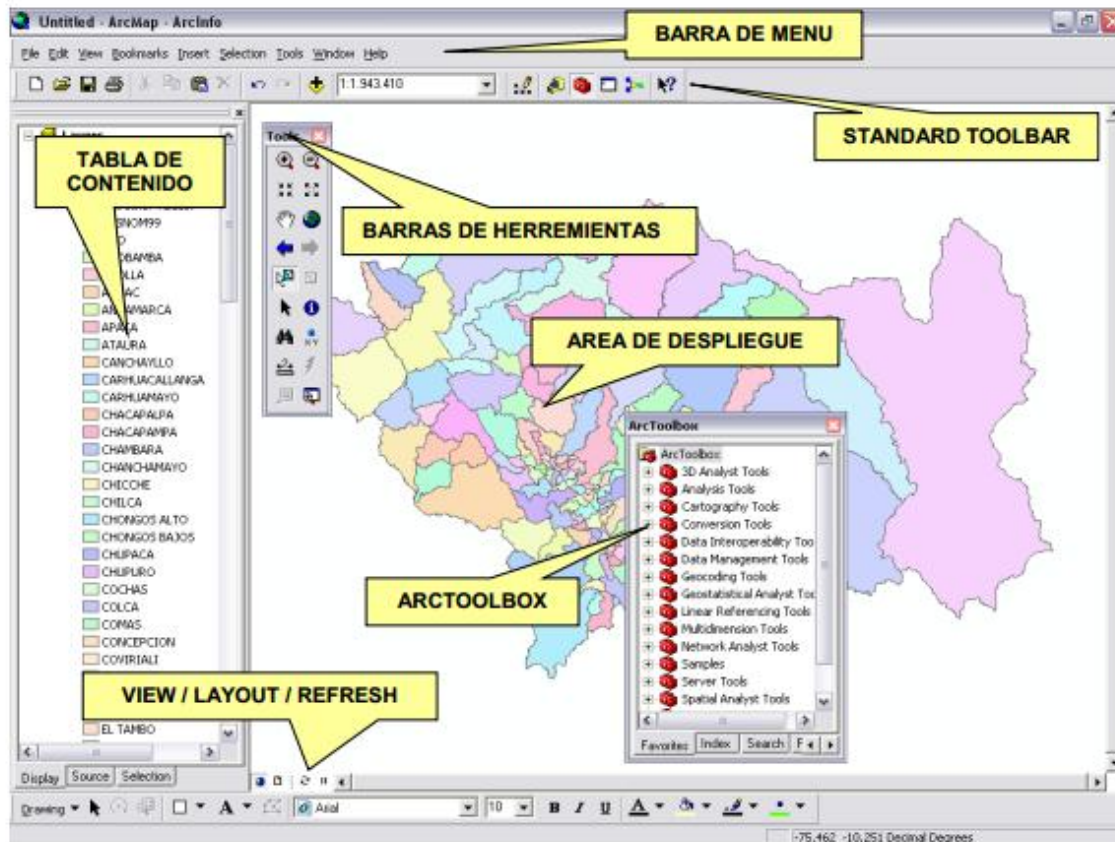
**Imagen 2.18:** SISTEMA ARCGIS

ArcGIS está integrado por tres aplicaciones que son:

- ArcMap, es la aplicación central de ArcGIS, permite realizar tareas con los mapas y sus datos relacionados: visualización, edición, búsquedas, análisis, gráficos y reportes.
- ArcCatalog, ayuda a organizar y gestionar los archivos de datos e información SIG, por medio de herramientas de exploración, administración, pre visualización de archivos y gestión de los metadatos.
- ArcToolbox, contiene herramientas para el geoprocesamiento, esto es: análisis, gestión y conversión de formatos y proyecciones de los mapas.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Fuente:** DESCRIPCIÓN DE LA SUITE ARCGIS, REPRESENTACIÓN Y CONSULTA DE DATOS

**Imagen 2.19:** INTERFAZ ARCMAP

## 2.5. Manejo del software WaterGems

Para el desarrollo de este tema se investigó directamente en el web site de Bentley que es la empresa que desarrollo el software de WaterGems, de donde Juan Gutiérrez es uno de los técnicos que se encarga de dar cursos, charlas y soporte técnico a los clientes que hacen uso de este programa en Sur América, por lo que expone toda la información necesaria para conocer a fondo todo lo relacionado con WaterGems. Toda esta información está disponible en su blog dentro del web site de Bentley.

WaterGEMS es un software que utiliza una solución multi-plataforma con integración al Sistema de Información Geográfica (SIG), para modelación hidráulica y análisis de calidad de sistemas de distribución de agua con avanzadas herramientas de interoperabilidad muy superiores a cualquier programa de este



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

tipo en el mercado, ya que el usuario puede disfrutar la versatilidad y el poder para trabajar conjuntamente con CAD, GIS, y con plataformas stand-alone mientras se está accediendo a un solo proyecto que comparte su base de datos fuente (18). El manejo de estas herramientas de interoperabilidad también permite trabajar con datos geoespaciales, optimización, gestión de infraestructuras y control de riesgos. Desde análisis de flujo, estimación de costos de inversión y consumo de energía; WaterGEMS le brinda un interfaz de herramientas intuitivas que le permiten analizar, diseñar y optimizar sistemas de distribución de agua. La base de datos de su modelo trabaja bajo los siguientes entornos:

- Windows stand-alone: Versatilidad y facilidad de uso.
- MicroStation: Entorno mediante su poderoso entorno Geoespacial.
- ArcMap: Integración ArcGIS y modelación de Geo-bases de Datos.
- AutoCAD: Entorno de modelación ágil para usuarios AutoCAD.

Los grupos de modelación pueden facilitar habilidades a los ingenieros de diferentes áreas de trabajo, con la finalidad de que aprendan de uno o varios de ellos y escojan el ambiente con el que más se sientan cómodos y puedan tener una visualización correcta de la multiplicidad de plataformas que el software brinda(3).

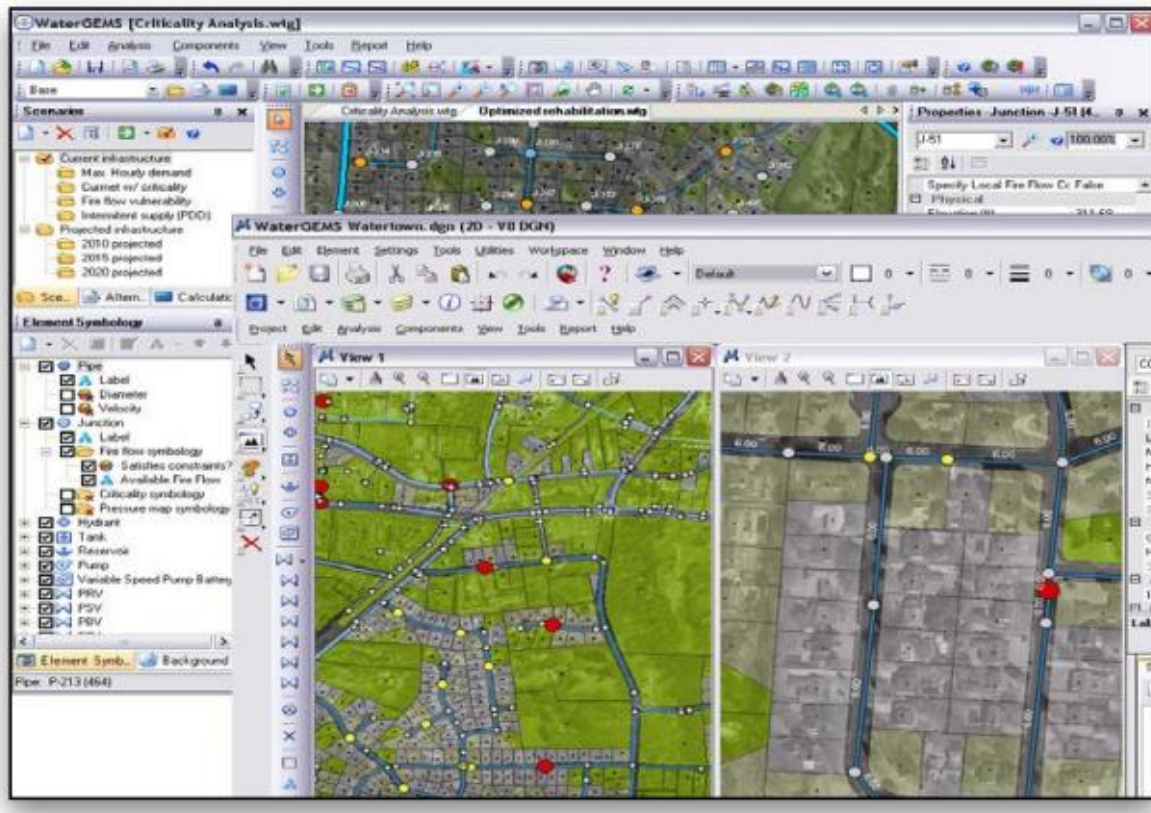
La toma de decisiones asociada a un modelo hidráulico requiere la consideración de múltiples escenarios operativos, de diseño, de planeación futura y de análisis como:

- Alternativas de Planeación bajo distintos horizontes de inversión.
- Estrategias de operación y ahorro de energía de sistemas de bombeo.
- Múltiples análisis para la dotación de zonas de expansión.
- Escenarios de demanda promedio, máxima o emergencia.
- Planes de contingencia ante eventos de contaminación.





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



*Fuente:* BENTLEY (WEB SITE)

*Imagen 2.20:* INTERFAZ DEL PROGRAMA WATERGEMS

### Comparación de WaterGems con otros softwares (11).

Es importante destacar las diferencias que existen entre los programas que hay en el mercado para poder tomar decisiones adecuadas al momento de usar uno u otro programa, dependiendo obviamente de las necesidades del usuario.

Partiendo desde las bases conceptuales de cálculo es importante señalar que el algoritmo de análisis hidráulico, para la solución del sistema de ecuaciones de una red de abastecimiento de agua potable, que aplican Bentley WaterCAD/GEMS, EPANET y algunas otras herramientas de modelización se basan en una misma metodología de cálculo denominada **gradiente conjugado**. El uso de esta metodología nos permite desarrollar el manejo de matrices acopladas y el uso de la factorización incompleta de Cholesky, beneficiando y reduciendo el manejo de datos, memoria requerida del equipo y optimizando el número de iteraciones requeridas por el modelo (18).





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Pero para marcar la diferencia es imperioso trabajar sobre esta formulación o metodología de análisis, que se ha venido realizando por parte del Centro de Soluciones Haestad de Bentley Systems durante casi dos décadas, importantes desarrollos y avances para ofrecer las características y funcionalidad que han convertido a WaterCAD V8i y WaterGEMS V8i en las herramientas más completas y líderes del mercado para modelación de sistemas de agua. Por otro lado tenemos a EPANET que los últimos desarrollos del algoritmo base que cuenta su programación datan del año 2002, aunque se han presentado algunos parches y corrección de errores en los últimos años no refleja un avance que significativo en comparación con los programas de Bentley.

En la actualidad y especialmente en las versiones lanzadas después del año 2005, que fue el momento en que se comenzó a dar quiebres importantes para el desarrollo y afinamiento de los programas Bentley, aparecieron diferencias sustanciales en las capacidades de cálculo de WaterCAD y WaterGEMS, que no existen en EPANET u otros programas que se encuentran perfectamente documentados en los manuales del producto y página Web de Bentley (18).

En consecuencia de estos adelantos se generaron importantes diferencias que pueden catalogarse en cinco grandes grupos:

- i) Interfaz de Usuario e Interoperabilidad con Plataformas Externas.
- ii) Construcción Inteligente de Modelos a partir de procesamiento de datos externos.
- iii) Análisis Hidráulico extendido y nuevos Elementos de Modelación.
- iv) Herramientas de Análisis y Diseño Avanzado.
- v) Soporte Técnico y Asistencia Comercial en los cinco continentes.

Con estas diferencias podemos mencionar algunos de los aspectos más destacables, como son:

- WaterCAD y WaterGEMS son los únicos productos del mercado en ofrecer soporte para 4 plataformas intercambiables como son AutoCAD, MicroStation, ArcGIS (sólo WaterGEMS), adicional a una plataforma autónoma *Stand-Alone* con toda la funcionalidad e interacción de las demás plataformas. El software aparte de la interoperabilidad de las plataformas soporta la sincronización bi-direccional con geo-data-bases, creadas en entornos GIS para ser importadas en la construcción automática de modelos y/o asignación de demandas.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- WaterCAD y WaterGEMS cuentan con el mejor administrador de escenarios del mercado. Las herramientas del administrador de escenarios brindan gran flexibilidad mediante el uso de diferentes combinaciones de alternativas, las cuales permiten reflejar situaciones reales o supuestas por parte del analista. Tanto los grupos de alternativas como de escenarios, pueden ser administrados de manera jerárquica bajo una estructura parental (Padre e hijo), esto quiere decir que, de un modelo principal se pueden deslindar una serie de sub-modelos que presenten situaciones diferentes.
- Las tablas flexibles en WaterCAD y WaterGEMS (disponibles en todas las plataformas) brindan al usuario una increíble ductilidad como herramienta en la configuración de reportes tabulares. El orden y número de parámetros, el ancho y texto de los campos, la precisión y las unidades son completamente personalizables. Estas tablas flexibles tienen otras funcionalidades que con un simple click derecho es posible generar gráficos y su asociación a los datos para una mejor visualización de resultados. De igual forma, con un simple Copiar/Pegar puede interactuar bi-direccionalmente con hojas de cálculo en Excel (18).
- La calibración hidráulica a través del módulo Darwin Calibrator® no tiene paralelos en la industria que siquiera intenten suplir o imitar este instrumento. Esta herramienta basada en una implementación de Algoritmos Genéticos puede gestionar múltiples situaciones específicas de demandas y condiciones de frontera que se generan en una jornada de medición de datos en campo (18).
- WaterCAD y WaterGEMS a través del módulo Darwin Designer® ofrecen una herramienta para diseño optimizado de redes y/o rehabilitación, permitiendo desarrollar análisis de: Costo Mínimo, Máximo Beneficio y Análisis Multi-Objetivo (multi-objective tradeoff analysis) entre costos y rendimiento hidráulico (18).
- Herramientas de Análisis Extendido como Análisis de Segmentación y Estado Crítico, Análisis de Incendio, Análisis de vaciado Uni-Direccional, Análisis de Costos de Energía e Integración a Bentley HAMMER para análisis de transientes hidráulicos.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- El módulo de análisis crítico (Criticality Análisis®) para WaterCAD y WaterGEMS es una herramienta muy útil que permite soportar las labores operativas y evaluar el impacto de fallos de cualquier tipo en el sistema, como por ejemplo roturas o labores de mantenimiento, cuantificando el impacto en el servicio que conlleva el aislamiento de tramos, permitiendo de esta forma determinar sectores de afectación, con el objetivo de poder desenvolver actividades para un plan de contingencia. Lo que distingue a WaterCAD/GEMS es la capacidad de realizar este análisis considerando la localización exacta y el estado de las válvulas de aislamiento del sistema.
- Como último punto de todas estas diferencias propuestas y desde el punto de vista de soporte empresarial no existe comparación ninguna en el campo de servicio al cliente. Es de hecho el Centro de Soluciones Haestad de Bentley Systems, la única compañía en la industria del Software para la Modelación Hidráulica e Hidrológica, que cuenta con un equipo completo de ingenieros de habla hispana encargándose de atender las solicitudes comerciales, brindar asistencia técnica, y efectuar a lo largo y ancho del continente cursos de capacitación en nuestros productos (18). Marcando así un estándar muy alto en el servicio personalizado de todos los clientes o interesados de la compañía.

En resumen de todas estas diferencias expuestas son muchos los contrastes que se pueden establecer entre Bentley WaterCAD y WaterGEMS y un producto de código abierto como EPANET. En esencia el desarrollo del software ha tenido como principal enfoque responder a los requerimientos de usuarios con proyectos reales, importantes desde un punto de vista social, cultural, económico, político, y como si faltara más con tiempos de entrega cortos; para lo cual se provee al modelador de herramientas de productividad que maximizan las actividades de construcción, calibración y desarrollo de múltiples escenarios de operación.

El objetivo primordial es que el modelador hidráulico dedique la mayor parte del tiempo de los proyectos en la ingeniería, análisis, solución de problemas y etc. Y no consuma ineficientemente el recurso más importante en cualquier proyecto civil que es el tiempo, y gastarlo en actividades como el ingreso de datos, verificación topológica, asignación de demandas, gestión de archivos, preparación de reportes e informes; sino que todos estos procesos sean completamente automatizados con la seguridad y confiabilidad de los resultados obtenidos (18).



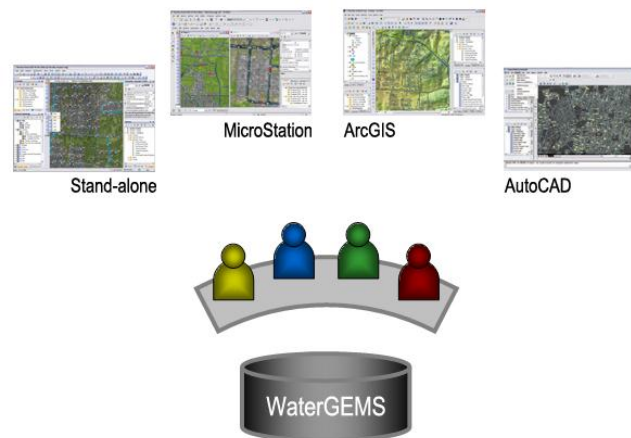
## **Ventajas de trabajar con la modelación y gestión de sistemas de distribución con integración GIS**

Anteriormente revisamos diferencias que se pueden destacar entre WaterGems y otros programas con el objetivo de aprender sobre este software y sus aptitudes. Al revisar las diferencias se resaltaron algunas ventajas del programa, las cuales serán expuestas a continuación:

### **Interoperabilidad sin sacrificios en funcionalidad**

Con soporte para cuatro distintas plataformas – ArcGIS, AutoCAD, MicroStation, y stand-alone – WaterGEMS ofrece una verdadera interoperabilidad sin sacrificios en funcionalidad. Disfrute de una completa integración GIS sin perder la precisión que brindan las plataformas CAD, o la velocidad de la interfaz stand-alone (19).

WaterGEMS le permite a un grupo de modeladores desarrollar un ambiente de cooperación entre todos los integrantes sin renunciar a habilidades individuales, pero brindando la facilidad de mantener un único set de datos sin ningún tipo de restricción en la plataforma de uso.



**Fuente:** BENTLEY (WEB SITE)

**Imagen 2.21:** INTEROPERABILIDAD DE WATERGEMS

### **Modelación avanzada en un solo producto**

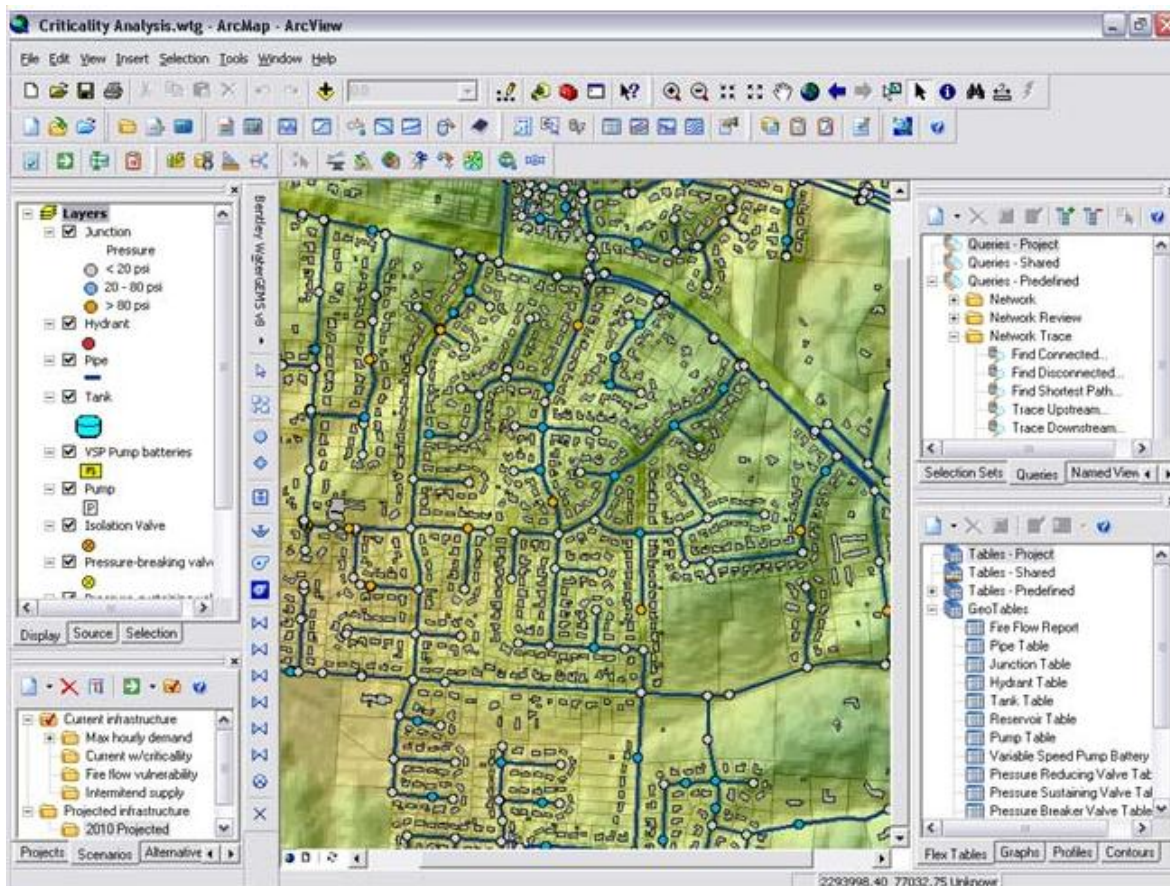
WaterGEMS ofrece las mismas características y funcionalidad para la simulación hidráulica, análisis de flujo de incendio, calidad de agua, vulnerabilidad y costos de energía que se encuentra en WaterCAD; adicional a los módulos avanzados de optimización y de productividad disponibles en WaterGEMS que le ayudarán a completar las diferentes tareas de modelación y gestión de abastecimientos (19).



## Integración GIS

Los modeladores que se encuentran familiarizados con el manejo de ArcGIS pueden nativamente intercambiar información con la arquitectura de la Geo-base de Datos de ESRI manteniendo un único set de datos del modelo hidráulico y la información GIS.

La premiada y reconocida interoperabilidad de WaterGEMS V8 XM provee una más estrecha integración con ArcGIS brindando acceso a todas las herramientas de WaterGems desde ArcMap como son los reportes tabulares, al administrador de escenarios y a cualquier otro modulo o funcionalidad disponible en WaterGEMS.



**Fuente:** BENTLEY (WEB SITE)

**Imagen 2.22:** INTEGRACIÓN GIS

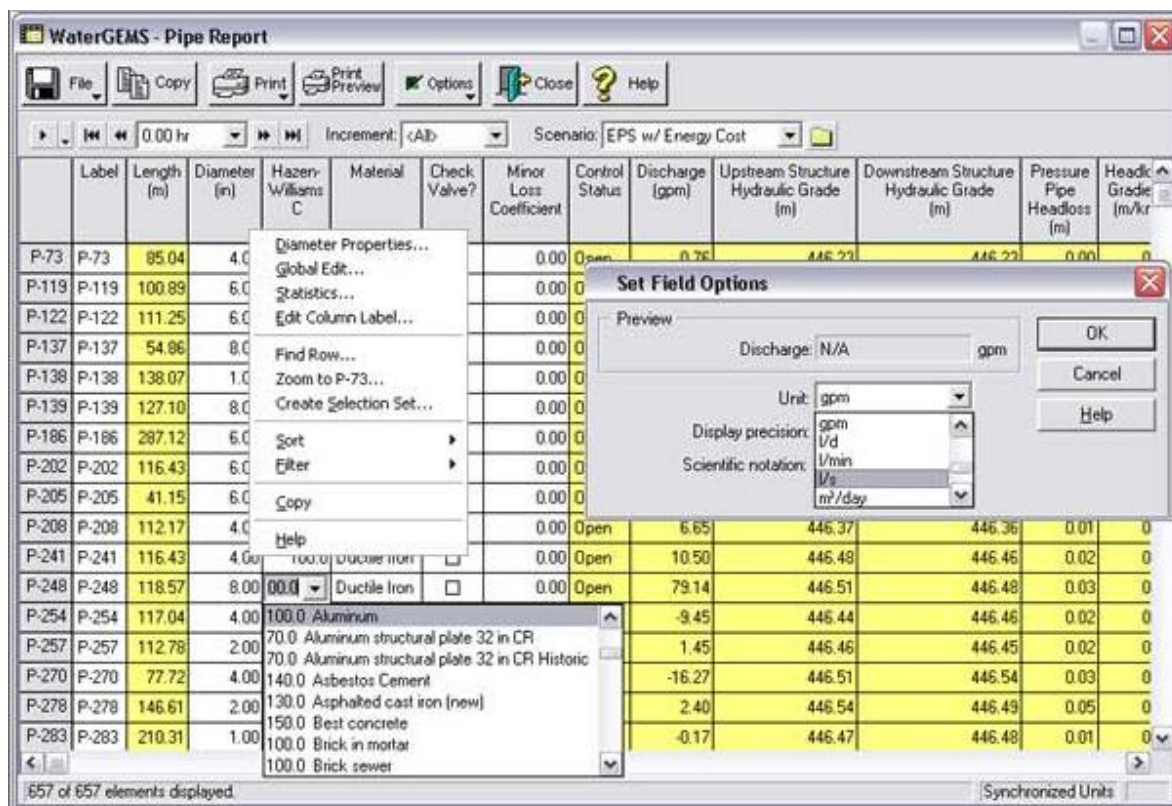




## Ahorrar tiempo de un proyecto ingenieril

El desarrollo de un proyecto de ingeniería maneja un sin número de variables que pueden tornarse en contratiempos es por eso que las características funcionales y de ahorro de tiempo de WaterGEMS, le permitirán un ingreso directo de los datos requeridos para la construcción del modelo otorgándole al modelador más tiempo para actividades propias de la ingeniería y en la toma de decisiones, basadas en resultados confiables y expeditos.

El uso de tablas para el manejo de bases de datos es una herramienta muy utilizada en la ingeniería, como por ejemplo tablas de cálculo de Excel, por esta razón WaterGems usa los reportes tabulares flexibles, que gestionan su propia librería con atributos y propiedades locales para un ágil ingreso de datos, cree consultas multi-parámetro persistentes, y maneje o modifique el sistema de unidades sobre la marcha.



**Fuente:** BENTLEY (WEB SITE)

**Imagen 2.23:** DIFERENTES USOS DE TABLAS FLEXIBLES



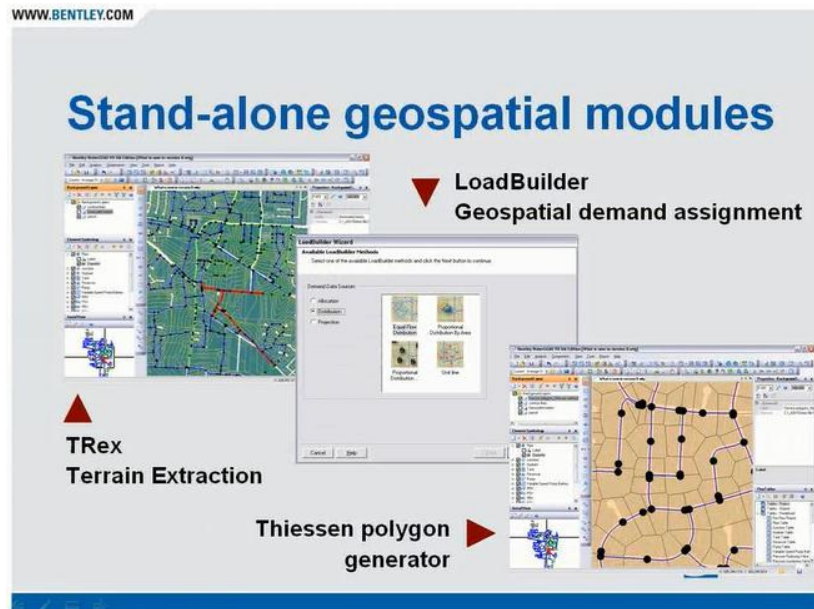
### **Modelación a partir de diferentes bases de datos**

En muchos de los casos los proyectos parten de dibujos CAD, archivos GIS, hojas de cálculo de Excel, o cualquier tipo de base de datos que defina la red hidráulica; usted solamente requerirá de un par de clicks para transformar esa información y con un proceso asistido que le permitirá a WaterGEMS construir el modelo de su sistema de abastecimiento.

Los módulos geo-espaciales le ayudarán a asignar automáticamente elevaciones y demandas en los nudos basándose en avanzados algoritmos y por medio de asistentes que le ayudaran a extraer la información topológica y de elevaciones desde diferentes bases de datos externas, registros SCADA o archivos Shape (19).

Además uno de los trabajos más tediosos dentro del diseño y evaluación de sistemas de abastecimiento de agua es el trazado de las áreas de servicio, ya que en un caso común estos polígonos se deben trazar manualmente con la ayuda de la topografía y de un programa como el CAD. Este problema y pérdida de tiempo ha sido superado gracias al módulo geoespacial de los polígonos de Thiessen, que generan el trazado poligonal para todos los nudos en cuestión de segundos, aunque desde un punto de vista técnico es recomendable siempre revisar estos polígonos manualmente con la intención de verificar y si es que es necesario modificar el trazado ya que existen conceptos técnicos que deben cumplirse como:

- Los polígonos no deben cruzar ríos ni quebradas de gran magnitud.
- Los polígonos deben estar trazados de tal forma que no vayan en contra de la topografía, esto quiere decir que, si tenemos un nudo que se encuentra en la curva de nivel 120 no podemos permitir que el área de servicio llegue hasta una altura de 310 metros sobre el nivel del mar ya que es ilógico que el agua realice esa trayectoria.
- Los polígonos deben evitar saltos topográficos grandes como hondonadas.
- Los polígonos deben reflejar la realidad topográfica de la zona de estudio.



**Fuente:** BENTLEY (WEB SITE)

**Imagen 2.24:** MÓDULOS GEOESPACIALES

### Trabajo grupal del sistema

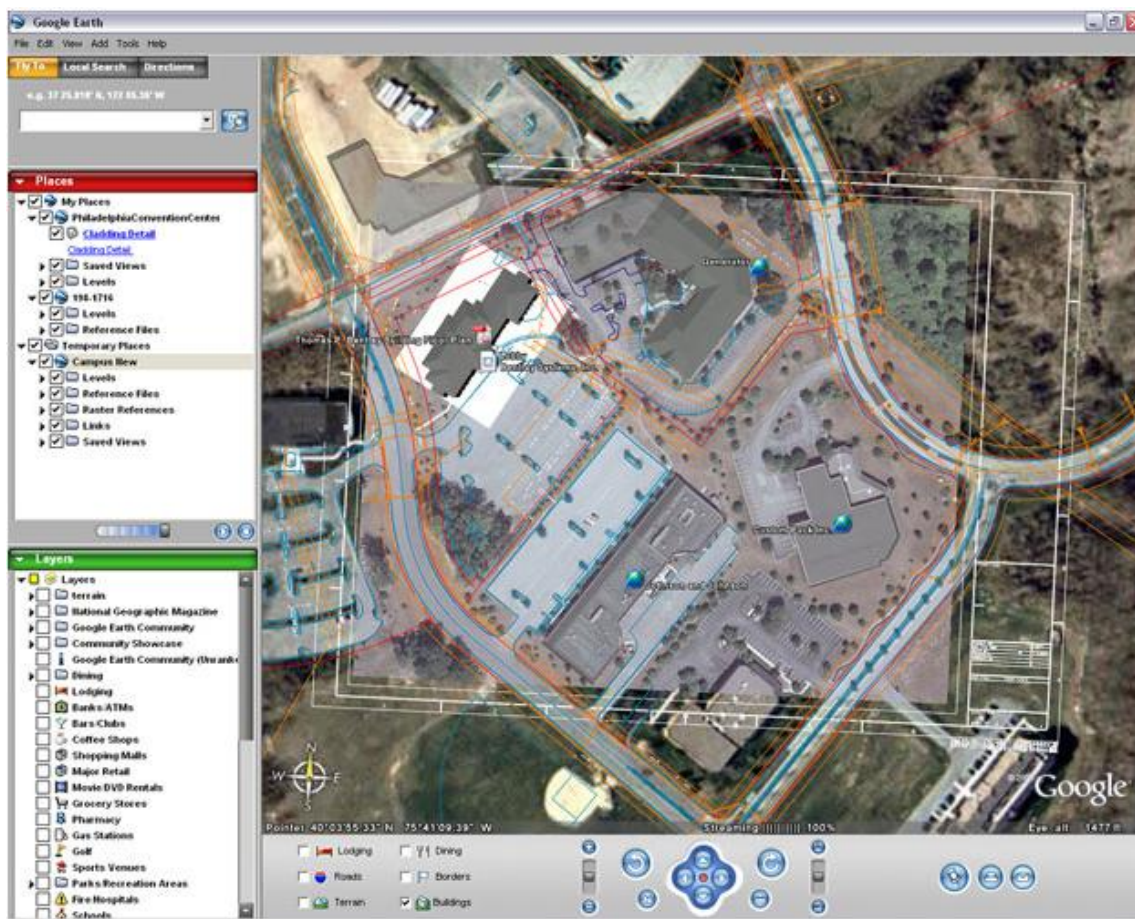
WaterGEMS le permitirá disfrutar de distintas posibilidades en caso de contar con un grupo de trabajo, clientes u otros colegas que necesitan interactuar y manipular el sistema:

- Cree archivos PDFs de su red hidráulica y de los resultados de modelación usando las características de integración con MicroStation.
- Publique sus modelos en la Web usando la integración de MicroStation con las herramientas de Google Earth.
- Trabaje con su modelo WaterGEMS permitiendo que cualquiera pueda abrir la geo-base de datos ESRI. Comparta su modelo desarrollado en WaterGEMS con usuarios que dispongan de WaterCAD y/o EPANET.





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Fuente:** BENTLEY (WEB SITE)

**Imagen 2. 25:** PUBLICACIÓN DE UN SISTEMA CON GOOGLE EARTH

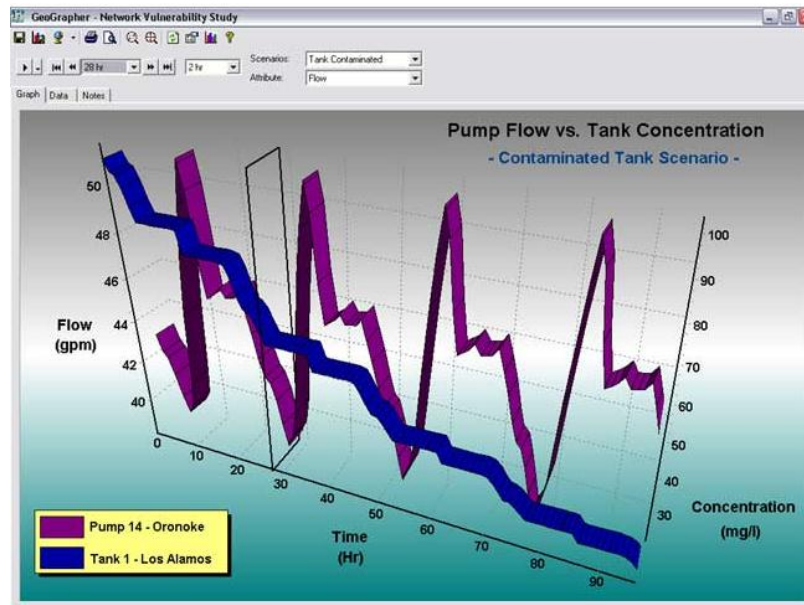
## Respuesta ante eventualidades

WaterGEMS le ayudará a ser mucho más ágil en el tiempo de respuesta y acción ante emergencias o situaciones críticas que puedes significar contaminación del medio ambiente o en el peor de los casos peligro para los consumidores del sistema de agua.

El programa cuenta con opciones de simulación de eventos de contaminación, escenarios de flujo de incendios, roturas de tuberías, y cortes de energía; encontrando las mejores estrategias operativas que deben implementarse en el sistema real. Use el Nuevo administrador de Análisis de Vulnerabilidad (Criticality Analysis) para determinar los tramos de tubería que deben ser prioritarios en las inversiones de mantenimiento y rehabilitación de su sistema.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

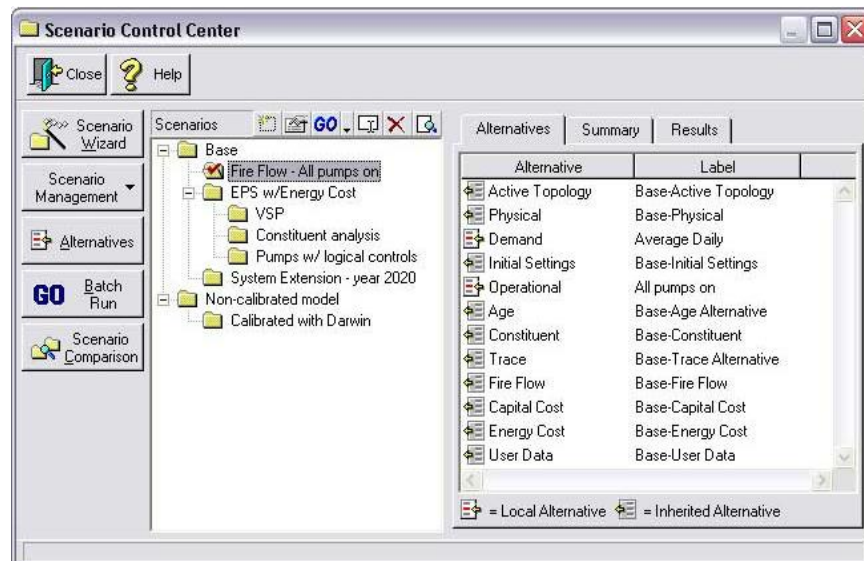


**Fuente:** BENTLEY (WEB SITE)

**Imagen 2.26:** USO DEL ADMINISTRADOR CRITICAL ANALYSIS

## Organización de escenarios

Use el centro de administración de escenarios de WaterGEMS, para configurar un número ilimitado de escenarios de diseño, demandas, esquemas operativos y topologías de la red; con el objeto analizar resultados de varias problemáticas del sistema de una forma ágil y reaccionar con un mejor criterio para el momento de toma de decisiones.

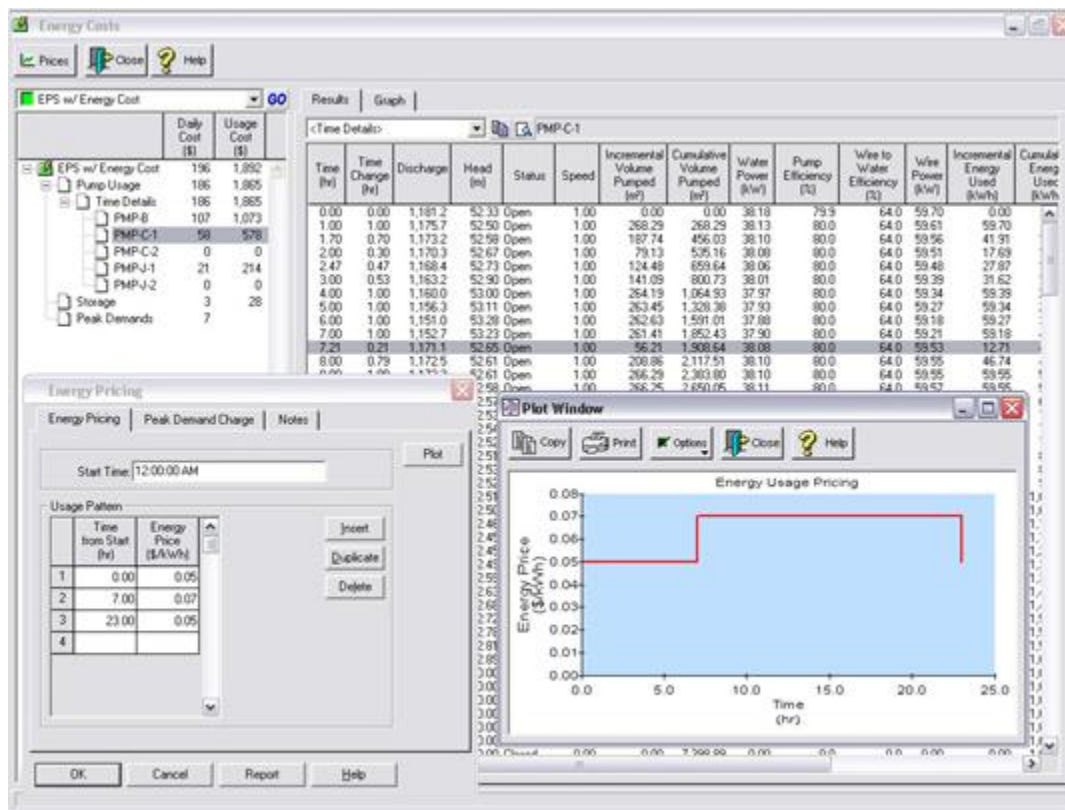


**Fuente:** BENTLEY (WEB SITE)

**Imagen 2.27:** MANEJO DE ESCENARIOS

## Robustez hidráulica y análisis de costos de operación

WaterGEMS permite la simulación precisa de Bombas de Velocidad Variable (VSP), nudos con demandas dependientes de la presión (PDD), controles basados en reglas lógicas e hidrantes para la modelación de las más complejas estrategias operacionales. Implemente esquemas de ahorro de energía usando el módulo de costos de energía de WaterGEMS a partir del cálculo de energía por la operación de las bombas y cualquier tipo de esquema tarifario (19).



Fuente: BENTLEY (WEB SITE)

Imagen 2.28: COSTO DE ENERGÍA Y USO ENERGÉTICO

## Presentación de resultados

El momento más importante de una modelación es aquel donde requerimos visualizar y mostrar los resultados obtenidos de la modelación para esto WaterGems ha perfeccionado varias opciones de visualización y presentación, por ejemplo cuando queramos representar cualquier tipo de “cuello de botella” operacional con graficas animadas en 3D de parámetros variables, codificación

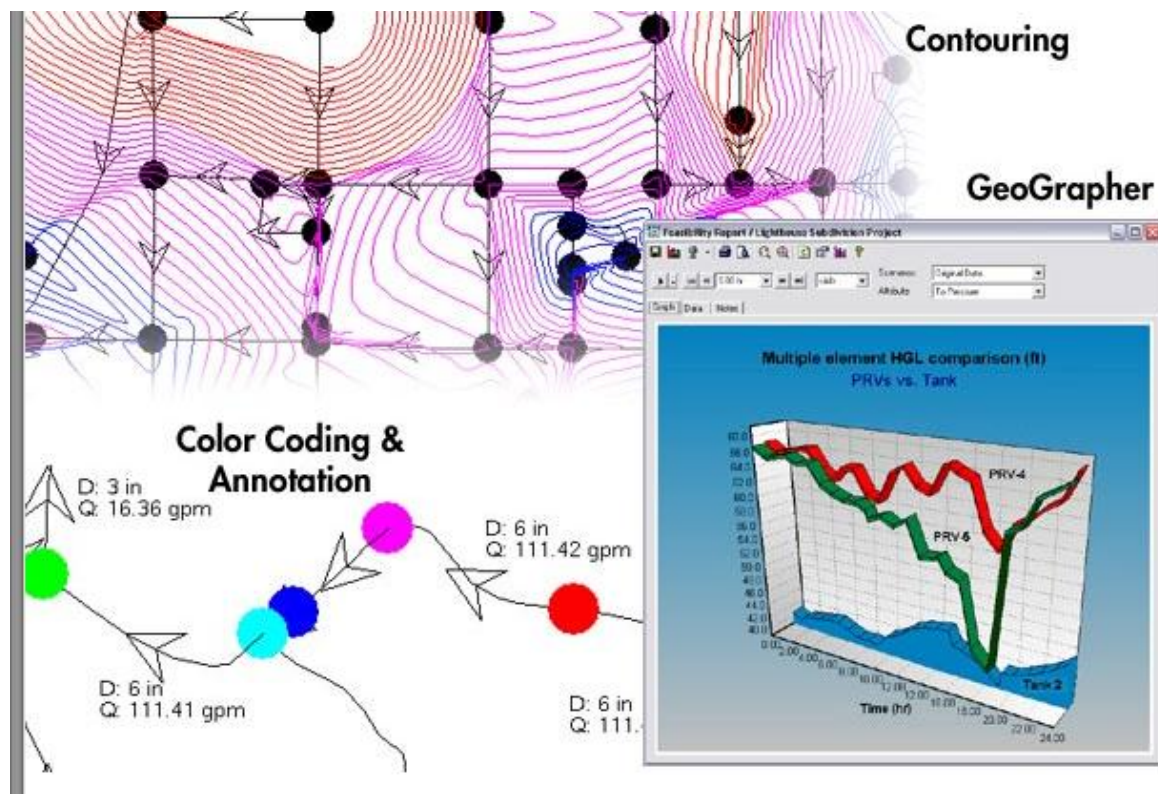




UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

por color basada en atributos, simbología de elementos y distintas posibilidades de anotación.

También existen alternativas para encontrar zonas de baja presión o con bajas concentraciones de cloro mediante la generación de mapas de contorno, grafique en un mismo perfil atributos para una serie de elementos y analice los reportes tabulares con un control total sobre unidades, herramientas de ordenamiento, filtros y análisis estadísticos.



**Fuente:** BENTLEY (WEB SITE)

**Imagen 2.29:** OPCIONES DE PRESENTACIÓN

## 2.6. Manejo del software CivilCad (Planificación y Análisis)

AutoCAD Civil 3D y su extensión de “Planificación y Análisis” es un software que proporciona a Ingenieros civiles en especial pero también a delineantes, geógrafos y topógrafos un paquete de herramientas basadas en el conocido programa base de AutoCAD con la implementación de funciones específicas para diseñar, trazar y



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

manejar todas las fases de un proyecto de ingeniería civil incluyendo el diseño de vial y sistemas de abastecimiento de agua potable, etc. (16)

El mundo de la ingeniería se ha desarrollado mediante el uso de nuevas herramientas tecnológicas para la planificación, diseño y ejecución de un proyecto por medio de diferentes softwares que nos ofrecen la facilidad de mejorar la velocidad, elaboración y calidad de los productos. Éstos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión y a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología informática. Los sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD, acrónimo de Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características reales y cotidianas de un determinado producto.

Estas características podrían ser el tamaño, el contorno y la forma de cada componente, almacenados como dibujos bidimensionales y tridimensionales, sabiendo que el programa soporta este tipo de proyecciones que a su vez permiten un trabajo completo de los objetos que en el caso del presente estudio son tuberías, accesorios y usuarios del proyecto. Una vez que estos datos dimensionales análogos, ósea, datos reales hayan sido introducidos como un formato digital y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. De la misma forma como vimos en programas como ArcMap o WaterGems este software admite que los archivos en desarrollo puedan compartirse, y con esto integrar las ideas combinadas de varios diseñadores, ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas, con lo que los diseñadores e ingenieros situados en lugares distantes entre sí pueden trabajar directamente y simultáneamente sobre el proyecto. Así los proyectos se podrán hacer con más rapidez, confiabilidad y precisión con el AutoCAD Civil 3D. Con este software se podrá diseñar, dibujar y gestionar todo tipo de proyectos: desde la ordenación del terreno y la parcelación, o la rehabilitación de carreteras y el diseño de autopistas, hasta el diseño de sistemas de abastecimiento y saneamiento de aguas (10).

La incorporación de un modelo dinámico de Civil 3D reduce drásticamente el tiempo que se tarda en implementar los cambios de diseño y en evaluar las distintas posibilidades, al trabajar sobre una base de datos que se auto-actualiza afectando directamente a los cambios que se realizan a lo largo de un proyecto. Con este tipo de software podemos realizar cambios en el proyecto en poco tiempo, lo que reduce costos y favorece cambios imprevistos que se presenten en el proyecto (10). Usando un modelo único y dinámico de ingeniería, ACAD C3D



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

vincula el diseño con la producción de planos, reduciendo de este modo el tiempo tardado en evaluar diferentes escenarios con información irrelevante he innecesaria, o también con cambios a realizar en algún momento del proyecto.

AutoCAD Civil 3D contiene tres programas un uno:

- AutoCAD
- AutoCAD Map 3D
- AutoCAD Civil 3D

La obtención de la topografía levanta del terreno en campo y toda la información necesaria, al ser procesada permite determinar la solución más adecuada al principio del proceso de generación de un proyecto, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero. Todas estas herramientas nos ayudan a visualizar el ecosistema del proyecto. Para analizar rápidamente distintas alternativas y conocer mejor el posible impacto que se generará, se pueden importar datos geoespaciales, como tipos de suelo, información de uso del terreno y restricciones medioambientales (10).

AutoCAD Civil 3D ofrece una gran capacidad de manejo topográfico que se integra totalmente en el programa e incluye importación de datos de reconocimiento sin procesar, ajuste de mínimos cuadrados, parámetros y transformaciones de sistemas de coordenadas, edición de observaciones topográficas, creación automatizada de figuras de topografía y creación de superficies, esta última es muy importante al momento de considerar la elevación de los diferentes elementos de agua potable. Esto nos proporciona un entorno de diseño más cercano al entendimiento de una realidad digital y visual donde los puntos, figuras de topografía y superficies pueden aprovecharse durante todo el proceso de diseño sin la particularidad de perder el tiempo en conversiones manuales del sistema de coordenadas ni transferencias de datos desde programas topográficos al software de diseño de ingeniería civil. Al introducir datos de reconocimiento topográfico en un proyecto, los elementos de diseño identifican el cambio y se actualizan inmediatamente (10).

A continuación explicaremos las herramientas básicas del programa:

File.- al igual que cualquier otra ventana de un programa de Windows este sirve para abrir, guardar o imprimir algún archivo etc.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Edit.- sirve para copiar, seleccionar el dibujo o eliminar objetos del proyecto.

View.- permite adoptar un ángulo cualquiera de visualización de un objeto o grupo de objetos, ya sea en dos como en tres dimensiones. Además nos deja jugar con el zoom del dibujo.

Insert.- se utiliza para insertar algún bloque o una imagen.

General.- aquí encontraremos una herramienta llamada toolspace que nos sirve para llevar un seguimiento del proyecto geométrico. Esta modalidad de trabajo es más usada para proyectos viales y te asegura un mayor control del proyecto. Para la generación de catastros es preferible trabajar en la modalidad de planificación y análisis.

Survey.- sirve para crear bases de datos o archivos.

Points.- sirve para crear, importar y configurar puntos.

Surfaces.- sirve para hacer superficies de terreno con la ayuda de las curvas de nivel que provienen de los puntos de la topografía.

Líneas/curvas.- sirve para crear algunas líneas, arcos y o curvas que nos puedan ayudar al diseño.

Parcels.- utilizado para crear divisiones de fraccionamientos o división de predios.

Grading.- esta herramienta nos sirve para crear líneas curvas.

Alignments.- en esta pestaña encontraremos todas las herramientas necesarias para crear y modificar una línea eje.

Profiles.- aquí se encuentran los elementos para crear el perfil del terreno natural de cualquier parte una vez creada la superficie.

Pipes.- sirve para diseño de tuberías.

Con estas herramientas sería suficiente para ser capaces de diseñar por completo un catastro de un sistema de abastecimiento de agua potable.

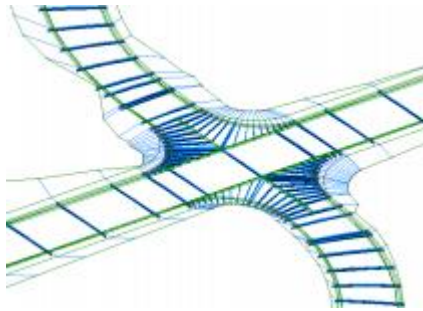
### **Principales características**

AutoCAD Civil 3D contiene informes adaptados a la normativa española y vinculación con los principales formatos GIS e ingeniería civil del mercado.



### Mejora la eficiencia

- Automatizar la coordinación del diseño final y el preliminar.
- Diseño de flujos de tareas.
- Crear modelos 3D más fiables.

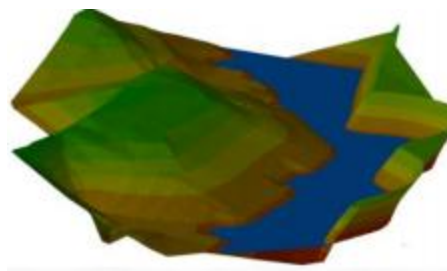


**Fuente:** AUTOCAD CIVIL 3D (SECCIÓN 3)

**Imagen 2. 30:** MODELADO DE UNA INTERSECCIÓN EN 3D

### Optimiza el trabajo

- Evaluar diferentes alternativas.
- Comunicación más clara durante el diseño.
- Realización de análisis geoespaciales.
- Informes de cubicación.



**Fuente:** AUTOCAD CIVIL 3D (SECCIÓN 3)





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**Imagen 2.31:** VISUALIZACIÓN 3D DE UNA SUPERFICIE

### Mejora de coordinación

- Trabajar con diferentes formatos de archivos como dwg, dxf, shp.
- Compartir datos entre un grupo de trabajo.
- Gestionar los datos.



**Fuente:** AUTOCAD CIVIL 3D (SECCIÓN 3)

**Imagen 2.32:** COMBINACIÓN DE FORMATOS

### Análisis geoespacial

- Integrar diseño y datos geoespaciales.
- Crear diseños conceptuales más fuertes.
- Trabajar con datos nativos de profesionales GIS.
- Predecir posibles impactos de diferentes alternativas.
- Definir modelos conceptuales para diseños de detalles.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Fuente:** AUTOCAD CIVIL 3D (SECCIÓN 3)  
**Imagen 2.33:** TRABAJAR SOBRE ARCHIVO GIS

## Topografía

- Importación de archivos de puntos y creación automática de líneas.
- Conexión con equipos de trabajo y formatos de datos.
- Refinar los datos y ayudar a corregir errores de campo.
- Generar y exportar modelos 3D para usarse en GPS.



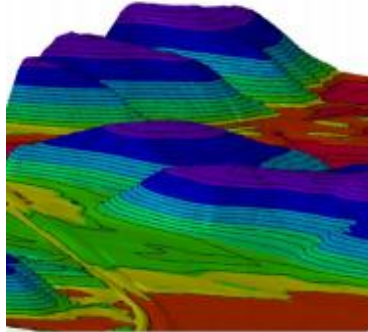
**Fuente:** AUTOCAD CIVIL 3D (SECCIÓN 3)  
**Imagen 2.34:** FORMACIÓN DE PUNTOS Y LÍNEAS DE CONTORNOS

## Modelos digitales

- Crear modelos de terreno desde una gran variedad de datos.
- Desarrollar el modelo dinámico en cuanto al diseño de viales, emplazamientos y cubicación.
- Analizar, en tiempo real, los datos de la superficie.



- Utilizar puntos, líneas características, obras lineales y explanaciones para el diseño del proyecto.



**Fuente:** AUTOCAD CIVIL 3D (SECCIÓN 3)

**Imagen 2.35:** GENERACIÓN DE UNA SUPERFICIE CON HERRAMIENTAS CIVILCAD

## CAPÍTULO TERCERO

### 3. Parámetros de diseño

#### 3.1. Determinación del número de habitantes

En un proyecto de abastecimiento de agua potable es muy importante establecer el número de habitantes que forman parte del sistema. Para el caso de una evaluación la forma más precisa de calcular la población es realizando un catastro completo de las domiciliarias que se encuentran instaladas, luego es necesario hacer una encuesta para censar el número de personas que viven en cada casa, aunque esta encuesta puede tomar mucho tiempo en su realización, es la más exacta. Muchas de las veces es complicado realizar una encuesta para proyectos muy grandes, ya que la inversión de dinero, tiempo y la capacidad logística, no representan los beneficios suficientes para justificar esos gastos; por eso muchas de las veces se hacen muestreos poblacionales para calcular estadísticamente el número de personas abastecidas por el sistema.

Muestreo y cálculo de la población

El sistema de abastecimiento de agua potable de Jesús del Gran Poder es relativamente nuevo con apenas 3 años de funcionamiento. La empresa ETAPA EP ha instalado 126 medidores, este número de medidores fue obtenido del catastro que se realizó en este estudio tal como se muestra en la tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, de un total de 677 domiciliarias catastradas en todas las comunidades del sistema, los medidores instalados representan el 18.6% del total. Esta cantidad



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

de medidores están repartidos en las zonas de Estero Piedra, Luz de América y Putucay.

Calculo del tamaño de la muestra

Debido a que contamos con 126 medidores es necesario cerciorarse de que este tamaño de muestra sea suficiente para poder asumir que el total de domiciliarias cumplen con las mismas características.

Según (4), la fórmula para determinar el tamaño de la muestra para una población finita es:

$$n = \frac{z^2 \cdot P \cdot Q \cdot N}{e^2 (N - 1) + z^2 \cdot P \cdot Q}$$

Ecuación 3-1

**Fuente:** TAMAÑO DE MUESTRA, ESTADÍSTICA INFERENCIAL (UNIVERSIDAD DE VERACRUZANA)

n= Tamaño de la muestra (# de domiciliarias).

N= Tamaño de la población (# de domiciliarias).

P y Q= Variabilidad positiva y negativa respectivamente (%).

e= Margen de error (%).

z= Nivel de Confianza (adimensional).

De acuerdo con Indemer (Investigación de mercados), las variables que forman parte de la ecuación para el cálculo del tamaño de la muestra de una población finita tienen que cumplir las siguientes condiciones:

Si no se conoce el valor de P y Q es preferible tomar el caso más desfavorable, es decir, aquel que nos proporcione el tamaño de muestra más grande, y eso ocurre cuando P=Q=50%.

El margen de error (e) promedio en un estudio de investigación es de  $\pm 5\%$ , y el máximo aceptable es del 10%.

El nivel de confianza (z) se refiere al grado de certeza acerca de si los resultados son o no representativos de la población en estudio, y a la magnitud de este acercamiento. Por ejemplo: el porcentaje más común es de 95% de confianza que equivale a un  $z=1,96$ , lo cual indica que si investigamos 100 muestras iguales, un



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

95% de ellas nos brindarían resultados similares a los obtenidos, con una desviación estándar previamente determinada (12).

Tenemos:

N= 677 domiciliarias.

P=Q=50%.

e= 10%.

z= 1,96.

$$n = \frac{1.96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 677}{0.1^2 (677 - 1) + 1.96^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}$$

$$n = 84 \text{ domiciliarias}$$

#### Cálculo de la población

Con la certeza de que los datos obtenidos de las 126 domiciliarias que cuentan con su respectivo medidor van a ser significativos para todo el universo de domiciliarias, procedemos al cálculo de la población para lo cual se han seguido los siguientes pasos:

- En cada una de las residencias que cuentan con medidores se encuestó el número de personas viviendo en esas casas.
- Con estos datos se obtuvo un promedio del número de habitantes por casa en cada una de las zonas encuestadas y por casa del todo el sistema.
- Luego se multiplicó el número de habitantes por casa por el número de domiciliarias catastradas en el sistema, obteniendo así un número aproximado de la población del sistema de abastecimiento de Jesús del Gran Poder.

Las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, tienen las siguientes columnas:

- Nro. de medidor.- muestra el identificador de cada uno de los medidores.
- Fecha 1 y Fecha 2.- especifican la fecha en la que se realizó la lectura del respectivo medidor.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- Lectura 1 y Lectura 2.- muestran los valores en  $m^3$  que se leen en los medidores, en cada fecha.
- La distinción por “Clase” está dado por los conceptos explicados a continuación.

*Clase A.-* Esta clase incluye a todas las viviendas que consumen una cantidad de agua que va desde 0 hasta 432 lt/usuario\*día. En esta clase por lo regular se encuentran las personas de pocos recursos económicos, también parejas y en otros casos personas de la tercera edad.

*Clase B.-* Esta clase incluye a todas las viviendas que consumen una cantidad de agua que va desde los 432 hasta los 864 lt/usuario\*día. En esta clase se encuentran las personas que tienen un nivel de vida medio.

*Clase C.-* Esta clase incluye a todas las viviendas que consumen una cantidad de agua que supera los 864 lt/usuario\*día. De lo que se pudo observar en estos casos de consumos grandes, es que por lo general no se trata de viviendas normales sino de escuelas y de fincas con áreas extensas de terreno. Pero en el caso de las fincas grandes la razón principal de su consumo no es que utilizan el agua para riego de sus plantaciones de cacao o para dar a los animales, sino que en esta zona los propietarios se encargan de la alimentación e hidratación de todos sus empleados desde el desayuno hasta la merienda. Entonces entre más grande o extensa es la finca más empleados va a tener y en consecuencia el consumo de agua será muy elevado.

- Consumo.- Es el valor que corresponde a las dos lecturas en unidades de (lt/usuario\*día).
- Nro. Personas.- Es el número de personas que habitan en la respectiva vivienda.

A continuación se presentan las tablas de cálculo utilizadas:

Consumo de Agua de Estero Piedra								
Nro.	No DE MEDIDOR	FECHA 1	LECTURA 1 ( $m^3$ )	FECHA 2	LECTURA 2 ( $m^3$ )	Clase	Consumo (lt/usuario*día)	Nro. Personas
1	A13N914973	28/05/2014	200	12/06/2014	208	Clase B	533.33	5



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

2	A13N914973	28/05/2014	3	12/06/2014	6	Clase A	200.00	4
3	A13N905420	28/05/2014	63	12/06/2014	69	Clase A	400.00	5
4	A13N914206	28/05/2014	2	12/06/2014	3	Clase A	66.67	2
5	A13N914313	28/05/2014	11	12/06/2014	13	Clase A	133.33	3
6	A13N913241	28/05/2014	67	12/06/2014	69	Clase A	133.33	3
7	A13N914593	28/05/2014	28	12/06/2014	30	Clase A	133.33	3
8	A13N914598	28/05/2014	113	12/06/2014	125	Clase B	800.00	7
9	A13N914312	28/05/2014	7	12/06/2014	8	Clase A	66.67	2
10	A13N914205	28/05/2014	118	12/06/2014	119	Clase A	66.67	2
11	A13N914315	28/05/2014	29	12/06/2014	134	Clase C	7000.00	6
12	A13N914207	28/05/2014	16	12/06/2014	18	Clase A	133.33	3
13	A13N914201	28/05/2014	57	12/06/2014	60	Clase A	200.00	3
14	A13N914979	28/05/2014	28	12/06/2014	29	Clase A	66.67	3
15	A13N905053	28/05/2014	48	12/06/2014	49	Clase A	66.67	3
16	A13N914976	28/05/2014	11	12/06/2014	12	Clase A	66.67	3
17	A13N914977	28/05/2014	5	12/06/2014	6	Clase A	66.67	3
18	A13N914972	28/05/2014	72	12/06/2014	80	Clase B	533.33	6
19	A13N914320	28/05/2014	86	12/06/2014	91	Clase A	333.33	4
20	A13N914102	28/05/2014	12	12/06/2014	13	Clase A	66.67	2
21	A13N914980	28/05/2014	222	12/06/2014	240	Clase C	1200.00	7
22	A13N914599	28/05/2014	88	12/06/2014	90	Clase A	133.33	2
23	A13N914594	28/05/2014	63	12/06/2014	66	Clase A	200.00	3
24	A13N914595	28/05/2014	100	12/06/2014	107	Clase B	466.67	5
25	A13N913247	28/05/2014	29	12/06/2014	31	Clase A	133.33	3
26	A13N913250	28/05/2014	118	12/06/2014	124	Clase A	400.00	5
27	A13N914591	28/05/2014	7	12/06/2014	8	Clase A	66.67	2
28	A13N913248	28/05/2014	46	12/06/2014	50	Clase A	266.67	4
29	A13N914600	28/05/2014	298	12/06/2014	305	Clase B	466.67	6
30	A13N906196	28/05/2014	12	12/06/2014	28	Clase C	1066.67	7
31	A13N914209	28/05/2014	210	12/06/2014	214	Clase A	266.67	4
<b>Promedio de habitantes</b>							<b>#hab 1=</b>	<b>4</b>

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3. 1:** TABLA DE CONSUMOS Y HABITANTES DE ESTERO PIEDRA

<b>Consumo de Agua de Luz de América</b>								
Nro.	No DE MEDIDOR	FECHA 1	LECTURA 1	FECHA 2	LECTURA 2	Clase	Consumo (lt/usuario*día)	Nro. Personas
1	A13N905700	28/05/2014	25	12/06/2014	29	Clase A	266.67	4



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

2	A13N914286	28/05/2014	88	12/06/2014	78	Clase B	666.67	6
3	A13N913894	28/05/2014	147	12/06/2014	155	Clase B	533.33	5
4	A13N913891	28/05/2014	141	12/06/2014	150	Clase B	600.00	6
5	A13N913892	28/05/2014	123	12/06/2014	134	Clase B	733.33	7
6	A13N913893	28/05/2014	118	12/06/2014	127	Clase B	600.00	6
7	A13N913895	28/05/2014	53	12/06/2014	60	Clase B	466.67	5
8	A13N913898	28/05/2014	88	12/06/2014	80	Clase B	533.33	5
9	A13N913898	28/05/2014	233	12/06/2014	243	Clase B	666.67	5
10	A13N913900	28/05/2014	347	12/06/2014	364	Clase C	1133.33	7
11	A13N913899	28/05/2014	98	12/06/2014	104	Clase A	400.00	5
12	A13N913897	28/05/2014	91	12/06/2014	79	Clase B	800.00	6
13	A13N912912	28/05/2014	243	12/06/2014	254	Clase B	733.33	6
14	A13N912913	28/05/2014	166	12/06/2014	177	Clase B	733.33	5
15	A13N912911	28/05/2014	82	12/06/2014	91	Clase B	600.00	6
16	A13N912914	28/05/2014	44	12/06/2014	49	Clase A	333.33	4
17	A13N912918	28/05/2014	79	12/06/2014	85	Clase A	400.00	5
18	A13N912919	28/05/2014	87	12/06/2014	92	Clase A	333.33	3
19	A13N912917	28/05/2014	52	12/06/2014	55	Clase A	200.00	3
20	A13N905469	28/05/2014	15	12/06/2014	16	Clase A	66.67	2
21	A13N905466	28/05/2014	14	12/06/2014	16	Clase A	133.33	2
22	A13N905465	28/05/2014	16	12/06/2014	32	Clase C	1066.67	8
23	A13N905058	28/05/2014	28	12/06/2014	30	Clase A	133.33	3
24	A13N905057	28/05/2014	3	12/06/2014	4	Clase A	66.67	2
<b>Promedio de habitantes</b>							<b>#hab 2</b>	<b>5</b>

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3.2:** TABLA DE CONSUMOS Y HABITANTES DE LUZ DE AMÉRICA

<b>Consumo de Agua de Putucay</b>								
Nro.	No DE MEDIDOR	FECHA 1	LECTURA 1	FECHA 2	LECTURA 2	Clase	Consumo (lt/usuario*día)	Nro. Personas
1	A13N914200	28/05/2014	41	12/06/2014	40	Clase A	66.67	2
2	A13N914196	28/05/2014	43	12/06/2014	44	Clase A	66.67	2
3	A13N914193	28/05/2014	71	12/06/2014	73	Clase A	133.33	3
4	914194	28/05/2014	86	12/06/2014	88	Clase A	133.33	2
5	913601	28/05/2014	16	12/06/2014	17	Clase A	66.67	2
6	912798	28/05/2014	165	12/06/2014	178	Clase C	866.67	8
7	912797	28/05/2014	93	12/06/2014	96	Clase A	200.00	3





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

8	912796	28/05/2014	16	12/06/2014	17	Clase A	66.67	2
9	912795	28/05/2014	155	12/06/2014	160	Clase A	333.33	5
10	912799	28/05/2014	94	12/06/2014	97	Clase A	200.00	3
11	913076	28/05/2014	77	12/06/2014	82	Clase A	333.33	3
12	913080	28/05/2014	9990	12/06/2014	9993	Clase A	200.00	2
13	913077	28/05/2014	93	12/06/2014	97	Clase A	266.67	3
14	913079	28/05/2014	105	12/06/2014	110	Clase A	333.33	3
15	868739-11	28/05/2014	227	12/06/2014	236	Clase B	600.00	5
16	868830-11	28/05/2014	137	12/06/2014	141	Clase A	266.67	3
17	868742-11	28/05/2014	14	12/06/2014	17	Clase A	200.00	3
18	868758-11	28/05/2014	108	12/06/2014	94	Clase C	933.33	6
19	868748-11	28/05/2014	12	12/06/2014	18	Clase A	400.00	5
20	868747-11	28/05/2014	547	12/06/2014	554	Clase B	466.67	5
21	868753-11	28/05/2014	491	12/06/2014	494	Clase A	200.00	2
22	868741-11	28/05/2014	190	12/06/2014	194	Clase A	266.67	2
23	913606	28/05/2014	105	12/06/2014	122	Clase C	1133.33	7
24	913602	28/05/2014	663	12/06/2014	675	Clase B	800.00	6
25	914940	28/05/2014	92	12/06/2014	103	Clase B	733.33	6
26	913608	28/05/2014	20	12/06/2014	27	Clase B	466.67	5
27	913605	28/05/2014	22	12/06/2014	23	Clase A	66.67	2
28	913604	28/05/2014	106	12/06/2014	126	Clase C	1333.33	7
29	913603	28/05/2014	165	12/06/2014	177	Clase B	800.00	6
30	913607	28/05/2014	42	12/06/2014	50	Clase B	533.33	4
31	913609	28/05/2014	336	12/06/2014	354	Clase C	1200.00	8
32	914938	28/05/2014	102	12/06/2014	107	Clase A	333.33	4
33	914691	28/05/2014	260	12/06/2014	278	Clase C	1200.00	8
34	914933	28/05/2014	89	12/06/2014	96	Clase B	466.67	5
35	914285	28/05/2014	327	12/06/2014	347	Clase C	1333.33	10
36	914288	28/05/2014	96	12/06/2014	97	Clase A	66.67	2
37	914287	28/05/2014	66	12/06/2014	71	Clase A	333.33	3
38	914239	28/05/2014	63	12/06/2014	67	Clase A	266.67	3
39	914936	28/05/2014	115	12/06/2014	124	Clase B	600.00	5
40	914935	28/05/2014	46	12/06/2014	49	Clase A	200.00	3
41	914934	28/05/2014	96	12/06/2014	105	Clase B	600.00	6
42	914931	28/05/2014	243	12/06/2014	253	Clase B	666.67	5
43	868531-11	28/05/2014	249	12/06/2014	262	Clase C	866.67	6
44	868824-11	28/05/2014	138	12/06/2014	158	Clase C	1333.33	8
45	868828-11	28/05/2014	164	12/06/2014	172	Clase B	533.33	5
46	868538-11	28/05/2014	1030	12/06/2014	1050	Clase C	1333.33	9
47	868825-11	28/05/2014	482	12/06/2014	484	Clase A	133.33	2



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

48	868820-11	28/05/2014	276	12/06/2014	280	Clase A	266.67	3
49	868822-11	28/05/2014	87	12/06/2014	78	Clase B	600.00	5
50	914873	28/05/2014	141	12/06/2014	151	Clase B	666.67	6
51	868532-11	28/05/2014	104	12/06/2014	109	Clase A	333.33	4
52	868821-11	28/05/2014	219	12/06/2014	234	Clase C	1000.00	8
53	868829-11	28/05/2014	107	12/06/2014	115	Clase B	533.33	4
54	914875	28/05/2014	9972	12/06/2014	9978	Clase A	400.00	4
<b>Promedio de habitantes</b>							<b>#hab 3</b>	<b>5</b>

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3.3:** TABLA DE CONSUMOS Y HABITANTES DE PUTUCAY

<b>Consumo de Agua de Vía Putucay-Estero Piedra</b>								
Nro.	No DE MEDIDOR	FECHA 1	LECTURA 1	FECHA 2	LECTURA 2	Clase	Consumo (lt/usuario*día )	Nro. Personas
1	A13N914300	28/05/2014	164	12/06/2014	171	Clase B	466.67	5
2	914204	28/05/2014	57	12/06/2014	59	Clase A	133.33	2
3	928468	28/05/2014	69	12/06/2014	77	Clase B	533.33	6
4	914317	28/05/2014	135	12/06/2014	139	Clase A	266.67	3
5	868775-11	28/05/2014	75	12/06/2014	76	Clase A	66.67	1
6	913910	28/05/2014	9832	12/06/2014	9854	Clase C	1466.67	11
7	913903	28/05/2014	102	12/06/2014	111	Clase B	600.00	6
8	905971	28/05/2014	2	12/06/2014	3	Clase A	66.67	2
9	905975	28/05/2014	0	12/06/2014	9	Clase B	600.00	7
10	905076	28/05/2014	3	12/06/2014	8	Clase A	333.33	4
11	914297	28/05/2014	288	12/06/2014	307	Clase C	1266.67	8
12	914937	28/05/2014	141	12/06/2014	150	Clase B	600.00	6
13	913904	28/05/2014	155	12/06/2014	162	Clase B	466.67	5
14	914781	28/05/2014	74	12/06/2014	80	Clase A	400.00	5
15	913075	28/05/2014	24	12/06/2014	26	Clase A	133.33	2
16	86975	28/05/2014	928	12/06/2014	931	Clase A	200.00	2
17	912792	28/05/2014	198	12/06/2014	218	Clase C	1333.33	9
<b>Promedio de habitantes</b>							<b>#hab 4</b>	<b>5</b>

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3. 4:** TABLA DE CONSUMOS Y HABITANTES DE VÍA PUTUCAY - ESTERO PIEDRA



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Número de habitantes promedio		
$(\#hab1 + \#hab2 + \#hab3 + \#hab4)/4$		
#hab=	5	Habitantes

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3.5:** TABLA RESUMEN DE HABITANTES

Con este cálculo se puede generalizar el resultado del muestreo al universo que en este caso es la población total de todas las comunidades servidas. Con estas consideraciones se procede finalmente al cálculo de la población actual del sistema:

$$Población\ actual = \# de\ domiciliarias \times \# hab$$

$$Población\ actual = 677 \times 5 = 3385\ hab$$

Proyección de la población

Al contar con la población actual continuamos con el cálculo de la proyección a futuro de la población. En este sistema se realizará una proyección a 20 años, para lo cual se utilizarán tres métodos diferentes de proyección planteados en el marco teórico que servirán para comparar y contrarrestar resultados con el objetivo de realizar una toma de decisión con el mejor fundamento posible al momento de seleccionar la *población futura de diseño*.

Los métodos son los siguientes:

**Método Aritmético**

**Método Exponencial**

**Método Geométrico**

$$Pfa = Pa + r_a \cdot n$$

$$Pfe = Pa \cdot e^{r_e \cdot n}$$

$$Pfg = Pa \times (1 + r_g)^n$$

Población censal de la parroquia Molleturo	
Año	Población
2001	5221
2010	7166

**Fuente:** INEC

**Tabla 3.6:** TABLA RESUMEN DE LA POBLACIÓN DE MOLLETURO



Como contamos con la información de los dos últimos censos de la parroquia Molleturo se calcularán dos valores de  $r_a$ ,  $r_e$  y  $r_g$ . Según el INEC la tasa de crecimiento entre estos dos periodos es de 3.52%.

### Método Aritmético

$$P_a = 3385 \text{ habitantes}$$

$$n = 20 \text{ años}$$

$$r_{2001-2010} = 3.52\% \text{ (INEC : Molleturo)}$$

$$r_a = 3385 \times 3.52\% = 119 \text{ hab/año}$$

$$P_{fa} = 5765 \text{ habitantes}$$

### Método Exponencial

$$P_a = 3385 \text{ habitantes}$$

$$n = 20 \text{ años}$$

$$r_e = \frac{\log(7166) - \log(5221)}{(2010 - 2001) \cdot \log e} = 3.52\%$$

$$P_{fe} = 6844 \text{ habitantes}$$

### Método Geométrico

$$P_a = 3385 \text{ habitantes}$$

$$n = 20 \text{ años}$$

$$r_e = \left( \frac{7166}{5221} \right)^{\frac{1}{(2010-2001)}} - 1 = 3.58\%$$

$$P_{fe} = 6840 \text{ habitantes}$$



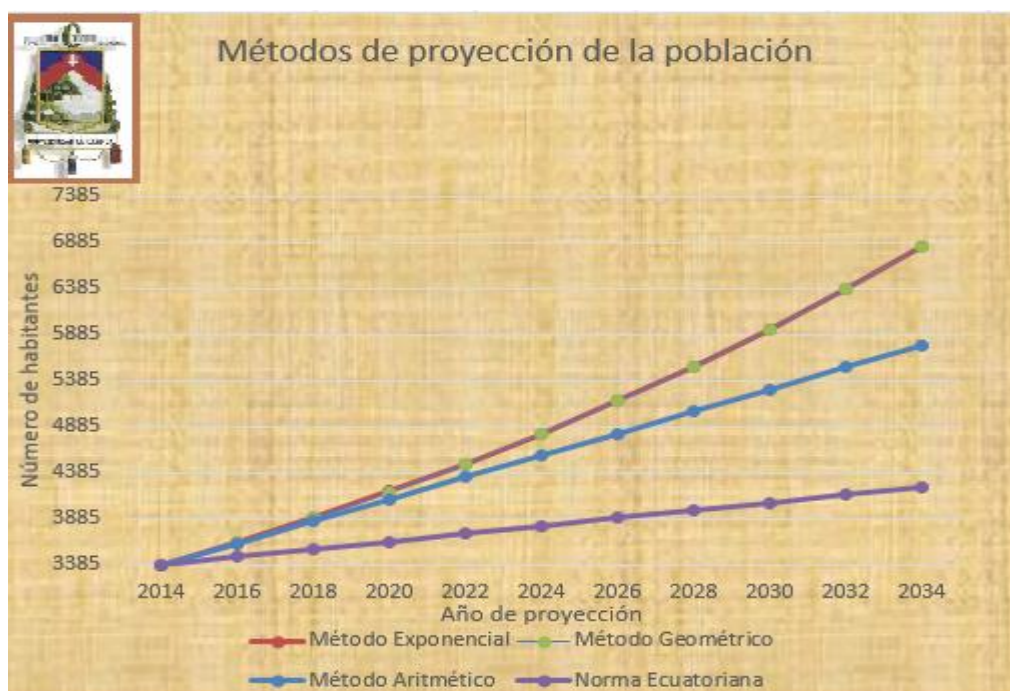
UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

	Método Aritmético		Método Exponencial		Método Geométrico	
Año	Población Actual	Población Futura	Población Actual	Población Futura	Población Actual	Población Futura
2014	3385	3385	3385	3385	3385	3385
2016	3623	3623	3632	3632	3632	3632
2018	3861	3861	3897	3897	3896	3896
2020	4099	4099	4181	4181	4180	4180
2022	4337	4337	4486	4486	4485	4485
2024	4575	4575	4813	4813	4812	4812
2026	4813	4813	5164	5164	5163	5163
2028	5051	5051	5541	5541	5539	5539
2030	5289	5289	5945	5945	5943	5943
2032	5527	5527	6379	6379	6376	6376
2034		5765		6844		6840

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 3.7:** PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN

A continuación se presenta la gráfica de los tres métodos usados:



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 3.1:** GRÁFICA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL (MÉTODO ARITMÉTICO, MÉTODO EXPONENCIAL, MÉTODO GEOMÉTRICO Y NORMA ECUATORIANA)



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

El único problema que se presenta al momento de seleccionar la población de diseño es que todos los métodos estiman una población futura que sobrepasa el 25% de la población actual, lo cual la norma CO 10.7 - 602 en la sección de *Disposiciones Específicas*, dice que en ningún caso y con ninguna excepción puede ocurrir tal incremento de la población para un periodo de diseño de 20 años. A continuación se presenta una tabla con los incrementos:

INCREMENTO PORCENTUAL		
60.27%	102.19%	102.07%

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 3. 8:** TABLA DE INCREMENTO DE LA POBLACIÓN DE DISEÑO CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE PROYECCIÓN

Debido a este problema se decidió tomar un incremento del 25% de la población actual en un periodo de 20 años. El número de habitantes sería de 4232 y esta es la cifra con la que se trabajará para el cálculo de la dotación futura de diseño.

### **3.2. Estimación del área de cobertura**

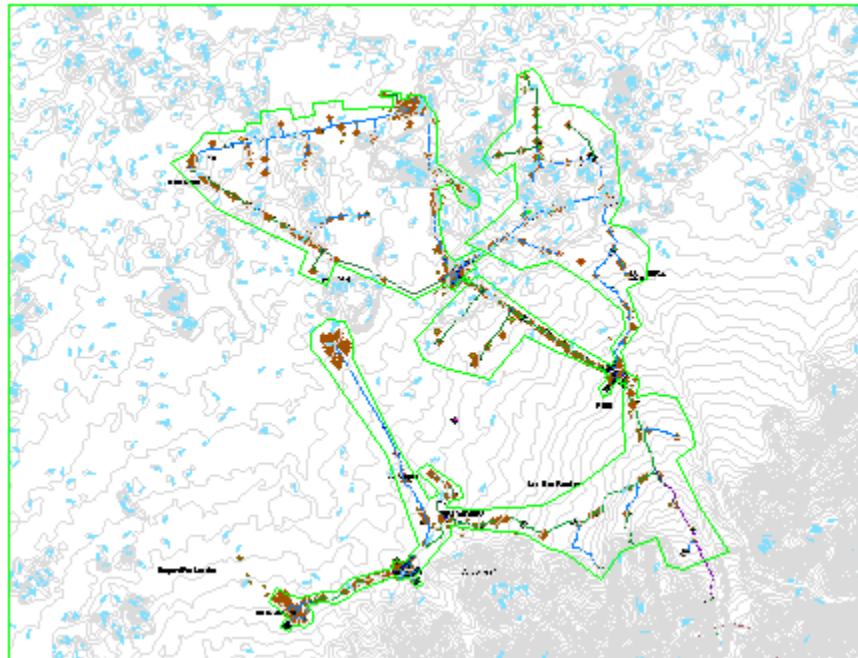
Esta área de cobertura del sistema es el punto base para el proceso de trazado de las áreas de servicio que corresponden a los diferentes nudos de la red de agua. El área de cobertura es de 2,262.67 ha.

Para la obtención del área de cobertura se utilizó la topografía, la distribución geográfica de los diferentes poblados y el catastro de usuarios, con la finalidad de tomar en cuenta todas las posibles zonas que serían parte del servicio.





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



*Elaborado por:* AUTOR  
**Imagen 3.2:** ÁREA DE COBERTURA

El área de cobertura del sistema está definida por la línea verde que se encuentra alrededor de la red, los criterios para el trazado de esta área fueron impuestos por parte del departamento de Soporte Investigación y Desarrollo de la empresa ETAPA EP, que consisten en: a) se debe evitar cruzar ríos, lagunas, quebradas y cualquier cauce que arrastre una gran cantidad de agua; b) no se debe trazar la línea de cobertura hacia sectores que se encuentren mucho más altos en comparación al nivel de la tubería, ya que puede ser dificultoso abastecer de agua a usuarios que se encuentren a un desnivel muy grande de la matriz; c) evitar extender el área de cobertura a través de accidentes geográficos de gran magnitud como: montañas, acantilados, volcanes, etc., en el caso de que existieran en la zona. Los puntos en tono café son los usuarios, y las líneas en plomo son las curvas de nivel de la zona, que se encuentran 1 c/10 m.

### **3.3.** Estudio de consumos

Los consumos serán determinados a través de las lecturas de los medidores, ya que normalmente un sistema de agua potable controla con medidores el consumo de agua para su posterior cobro. Desafortunadamente la empresa E.T.A.P.A. EP durante los 3 años de funcionamiento del sistema de agua no ha colocado todos los medidores necesarios, contando apenas con 126 medidores de los 677 que deberían estar instalados para cubrir por completo las domiciliarias conectadas



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

hasta este momento. Como no se cuenta con la información necesaria para definir directamente el consumo total, se realizó un estudio de consumos con las lecturas de los medidores existentes; las lecturas de los medidores se realizaron en un intervalo de 15 días entre las fechas del 28 de mayo al 12 de junio del 2014. Estas lecturas corresponden a las mostradas en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4.

#### Consumos por clases

Las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4, muestran la clasificación de consumos por clase (Clase A, Clase B y Clase C) que ya fueron explicadas en la misma sección.

Es importante la clasificación de consumos para conocer la influencia que tiene cada una de estas clases en el consumo total del sistema, y también su influencia en las diferentes zonas donde se realizaron las lecturas. Las clases nos ayudan también para verificar el buen o mal uso del agua en los hogares, siendo un punto clave en la evaluación de un sistema ya que si por ejemplo existe un consumo alto de agua en una vivienda con apenas 2 o 3 personas en ella, esto nos dice que bien el agua está siendo ocupada de la forma incorrecta como para riego de plantaciones o existe una fuga en el sistema de tuberías o en la instalación de los diferentes accesorios como: sanitarios, duchas, lavamanos y fregaderos, de la casa, generando así un consumo exagerado del usuario.

A continuación se muestran las tablas resumen del cálculo de la dotación promedio en l/usuario\*día de cada zona con medidores.

Consumo de Agua de Estero Piedra		
Clasificación de consumo		
Clase A	Clase B	Clase C
23	5	3
Promedio de consumo por clase		
159.42	560.00	3088.89
Número de usuarios		
31 usuarios		
Porcentaje de Influencia		
Clase A (%)	Clase B (%)	Clase C (%)
74.19	16.13	9.68
Consumo total por clase (l/usuario*día)		
Clase A	Clase B	Clase C
118.28	90.32	298.92
Total de consumo		
Clase A + Clase B + Clase C		
<b>Tc1=</b>	<b>507.53</b>	<b>l/usuario*día</b>

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3.9:** CÁLCULO DE LA DOTACIÓN EN ESTERO PIEDRA



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Consumo de Agua de Luz de America		
Clasificación de consumo		
Clase A	Clase B	Clase C
10	12	2
Promedio de consumo por clase		
233.33	638.89	1100.00
Número de usuarios		
24 usuarios		
Porcentaje de Influencia		
Clase A (%)	Clase B (%)	Clase C (%)
41.67	50.00	8.33
Consumo total por clase (l/usuario*día)		
Clase A	Clase B	Clase C
97.22	319.44	91.67
Total de consumo		
Clase A + Clase B + Clase C		
<b>Tc1=</b>	<b>508.33</b>	<b>l/usuario* día</b>

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3.10:** CÁLCULO DE LA DOTACIÓN EN LUZ DE AMÉRICA

Consumo de Agua de Putucay		
Clasificación de consumo		
Clase A	Clase B	Clase C
28	15	11
Promedio de consumo por clase		
219.05	604.44	1139.39
Número de usuarios		
54 usuarios		
Porcentaje de Influencia		
Clase A (%)	Clase B (%)	Clase C (%)
51.85	27.78	20.37
Consumo total por clase (l/usuario*día)		
Clase A	Clase B	Clase C
113.58	167.90	232.10
Total de consumo		
Clase A + Clase B + Clase C		
<b>Tc1=</b>	<b>513.58</b>	<b>l/usuario* día</b>

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3.11:** CÁLCULO DE LA DOTACIÓN EN PUTUCAY



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Consumo de Agua de Vía Putucay- Estero Piedra		
Clasificación de consumo		
Clase A	Clase B	Clase C
8	6	3
Promedio de consumo por clase		
200.00	544.44	1355.56
Número de usuarios		
17 usuarios		
Porcentaje de Influencia		
Clase A (%)	Clase B (%)	Clase C (%)
47.06	35.29	17.65
Consumo total por clase (l/usuario*día)		
Clase A	Clase B	Clase C
94.12	192.16	239.22
Total de consumo Clase A + Clase B + Clase C		
<b>Tc1=</b>	<b>525.49</b>	<b>l/usuario*día</b>

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3. 12:** CÁLCULO DE LA DOTACIÓN EN VÍA PUTUCAY-ESTERO PIEDRA

En las tablas 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12, tenemos el **total de consumo** en rojo que es la sumatoria de los consumos de cada clase. Ahora el procedimiento para encontrar el **consumo total por clase** mostrado en las tablas 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12 es el siguiente:

- Primero es necesario contar el número de lecturas que existen en cada clase, o sea cuántos consumos hay de la clase A, cuántos de la clase B y cuantos de la clase C para obtener la **clasificación de consumo**.
- Luego procedemos a sacar el promedio de consumo de cada clase, esto se llama **promedio de consumo por clase**.
- Después sólo necesitamos sumar todas estas lecturas para saber el **número de usuarios** que existen en la zona respectiva.
- Luego calculamos el **porcentaje de influencia** que es el peso que tiene el número de lecturas de cada clase con respecto al total de lecturas de la tabla. Ejemplo: en la tabla 3.12 tenemos 8 lecturas en la clase A de un total



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

de 17 usuarios entonces para calcular la influencia se hace una regla de tres considerando al 17 como el 100% de las lecturas y quedaría de la siguiente manera:

$$\frac{8 \times 100}{17} = 47.058\%$$

- Con el porcentaje de influencia listo se procede a calcular el **consumo total por clase** que simplemente es igual a la multiplicación del porcentaje de influencia por el promedio por clase. Continuando con el ejemplo anterior tenemos:

$$\frac{200 \times 47.058}{100} = 94,12 \text{ lt/usuario} \cdot \text{día}$$

- Todo el procedimiento explicado anteriormente se debe hacer para cada una de las clases. Por último, calculados esos consumos los sumamos para obtener los factores Tc1, Tc2, Tc3 y Tc4.

Con los datos del número de habitantes y de los consumos en cada zona se generó la tabla 3.13 para calcular la dotación de diseño para el proyecto.

Promedio de consumo		
$(Tc1 + Tc2 + Tc3 + Tc4)/4$		
Ptotal=	513.73	lt/usuario* dia
Número de habitantes promedio		
$(\#hab1 + \#hab2 + \#hab3 + \#hab4)/4$		
#hab=	5	Habitantes
Consumo de diseño (Dotación)		
	$D = \frac{Ptotal}{\# hab}$	
D=	102.75	lt/hab* dia

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 3.13:** CÁLCULO DE LA DOTACIÓN ACTUAL



### 3.4. Determinación de la dotación de diseño

Para el caso de la evaluación de un sistema de abastecimiento es recomendable analizar el sistema tanto con dotaciones actuales como con dotaciones futuras. Ya que es necesario conocer el estado del sistema en el presente para poder realizar recomendaciones para el mantenimiento inmediato de la red en caso de existir problemas considerables en cualquiera de sus elementos (15).

El CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS (Norma CO 10.7 – 602) en la sección de bases de diseño y dentro de sus disposiciones específicas explica los pasos para el cálculo del caudal máximo horario con el cual se puede trabajar para el análisis estático del sistema. Estas disposiciones se refieren al cálculo de dotaciones futuras, es por eso que para obtener la dotación de diseño actual se seguirán los procedimientos correspondientes a las variaciones de consumo.

Cálculo del caudal medio diario de la población actual

El caudal medio diario se calcula a partir de la ecuación:

$$qmd = f \times (P \times D) / 86400$$

Ecuación 3-2

**Fuente:** CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS

Dónde:

Qm: Caudal medio (l/s).

f: Factor de fugas.

P: Población actual.

D: Dotación actual.

Los valores de estos factores son:

f=	20.00	%
P=	3385.00	personas
D=	102.75	l/hab*día
qmd=	4.83	l/s

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 3.14:** CÁLCULO DEL CAUDAL MEDIO DIARIO





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Para determinar el factor de fugas es importante primero determinar el nivel de servicio que tiene el sistema de agua, para esto se utiliza la siguiente imagen:

NIVEL	SISTEMA	DESCRIPCIÓN
0	AP EE	Sistemas individuales. Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario
Ia	AP EE	Grifos públicos Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP EE	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño Letrinas sin arrastre de agua
IIa	AP EE	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP ERL	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa Sistema de alcantarillado sanitario
Simbología utilizada: AP: Agua potable EE: Eliminación de excretas ERL: Eliminación de residuos líquidos		

**Fuente:** CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS

**Imagen 3.3:** NIVELES DE SERVICIO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS

En este sistema tenemos un nivel de servicio IIb que nos servirá para poder seleccionar la dotación de agua y el factor de fugas. Para el caso de la dotación en este sistema se calculó el valor exacto de los consumos, pero es importante comparar los resultados obtenidos con los datos que nos presenta la tabla 3.13 de dotaciones. La norma nos presenta la siguiente imagen:

NIVEL DE SERVICIO	CLIMA FRIO (l/hab*día)	CLIMA CALIDO (l/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

**Fuente:** CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS

**Imagen 3.4:** DOTACIONES DE AGUA PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE SERVICIO



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

En la imagen 3.4 nos da un valor de  $100 \frac{lt}{hab \cdot día}$  para un nivel de servicio IIb en clima cálido, lo cual es muy cercano al consumo calculado de  $102,75 \frac{lt}{hab \cdot día}$ .

El concepto de fugas se tomará en cuenta como un porcentaje de exceso con respecto al caudal medio. Para escoger un porcentaje de fugas se utiliza la siguiente imagen:

NIVEL DE SEVICIO	PORCENTAJE DE FUGAS
Ia y Ib	10 %
IIa y IIb	20 %

**Fuente:** CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS

**Imagen 3.5:** PORCENTAJES DE FUGAS A CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Esta tabla de porcentajes de fugas nos dice que debemos tomar el 20% para el cálculo del caudal medio.

Cálculo del caudal máximo diario de la población actual

El caudal máximo diario (QMD), corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas en un periodo de un año. Se calcula a partir de la multiplicación del caudal medio por el coeficiente de consumo máximo diario ( $k_1$ ), este coeficiente tiene un valor 1.25 según la norma CO 10.7 – 602 del CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS.

El caudal máximo diario se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$QMD = k_1 \times qmd$$

Ecuación 3-3

**Fuente:** CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS

Dónde:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Caudal máximo diario:		
$QMD = k_1 \times qmd$		
$QMD$ : Caudal máximo diario (l/s)		
$k_1$ = Factor de mayoración máximo diario.		
$k_1 = 1.25$		
$QMD =$	6.04	l/s

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 3. 15: CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO DIARIO**

Cálculo del caudal máximo horario de la población actual

El caudal máximo horario (QMH), corresponde al consumo máximo que se haya registrado durante una hora en un período de un año, la manera de calcular este caudal es multiplicando el caudal medio por el coeficiente de consumo máximo horario ( $k_2$ ), este coeficiente tiene un valor de 3 según la norma CO 10.7 – 602.

El caudal máximo horario se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$QMH = k_2 \times qmd$$

Ecuación 3-4

**Fuente:** CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS

Dónde:

Caudal máximo horario:			
$QMH = k_2 \times qmd$			
$QMH$ : Caudal máximo horario (l/s)			
$k_2$ = Factor de mayoración máximo horario.			
$k_2 = 3$			
$QMH =$	14.49	l/s	
$QMH$ (usuario)	0.0214	l/s	

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 3.16: CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO HORARIO**



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

En tabla 3.16 de cálculo del QMH tenemos una última fila que dice QMH (usuario) que es la distribución de los 14,49 l/s (**caudal actual**) que tiene como caudal total del sistema en las 677 domiciliarias existentes. El caudal de 0,0214 l/s será cargado a cada punto o domiciliaria catastrada en el sistema para que luego estos puntos que se encuentran georeferenciados sean asignados a un nudo de la red de agua.

### Cálculo del caudal de diseño

Para determinar este caudal es necesario seguir los pasos que nos indica la norma y que son los mismos que se siguieron para el cálculo del caudal actual, con la única excepción de que ahora utilizaremos la población futura de 4232 habitantes, obtenida anteriormente. A continuación se presenta las tablas resumen del cálculo:

Caudal medio:	
$qmd = f \times (P \times D) / 86400$	
qmd: Caudal medio diario (l/s).	
f: Factor de fugas.	
P: Población de diseño.	
D: Dotación de diseño.	
f=	20.00 %
P=	4232 personas
D=	102.75 l/hab*dia
qmd=	6.04 l/s

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 3.17: CÁLCULO DEL CAUDAL MEDIO**

Caudal máximo diario:	
$QMD = k_1 \times qmd$	
qmd: Caudal máximo diario (l/s)	
k <sub>1</sub> = Factor de mayoración máximo	
k <sub>1</sub> = 1.25	
QMD=	7.55 l/s

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 3.18: CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO DIARIO**



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Caudal máximo horario:		
$Q_{MH} = k_2 \times qmd$		
QMH: Caudal máximo horario (l/s)		
k2= Factor de mayoración máximo horario.		
k2= 3		
QMH=	18.12	l/s
QMH (usuario)	0.0268	l/s

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 3. 19:** CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO HORARIO

El cálculo nos dice que 18,12 l/s es el **caudal de diseño**, y esto representa que 0,0268 l/s están distribuidos a cada uno de las 677 domiciliarias de la red de abastecimiento de agua.

La norma CO 10.7 – 602 del CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS en su sexta parte correspondiente a sistemas de agua potable en la sección de distribución de agua potable nos dice que cualquiera que sea el nivel de servicio, la red de distribución será diseñada con el caudal máximo horario.

### **3.5. Criterios para la evaluación de la red de distribución: presiones, velocidades, diámetros y pérdidas de carga**

Una herramienta importante para la evaluación de una red de distribución es contar con parámetros establecidos de presiones, velocidades, diámetros y pérdidas de carga, para que al momento de obtener los resultados del sistema sepamos cómo interpretar esa información en función del mejor mantenimiento y operatividad del sistema. Para poder tener una mejor toma de decisiones es sustancial establecer rangos de tolerancia en cada uno de los factores que intervienen en la red.

Los factores como las presiones, velocidades y pérdidas son los más distintivos y significativos al momento de evaluar una red y es por eso que se les ha tomado en cuenta para verificar su comportamiento en este sistema de agua de Jesús del Gran Poder.

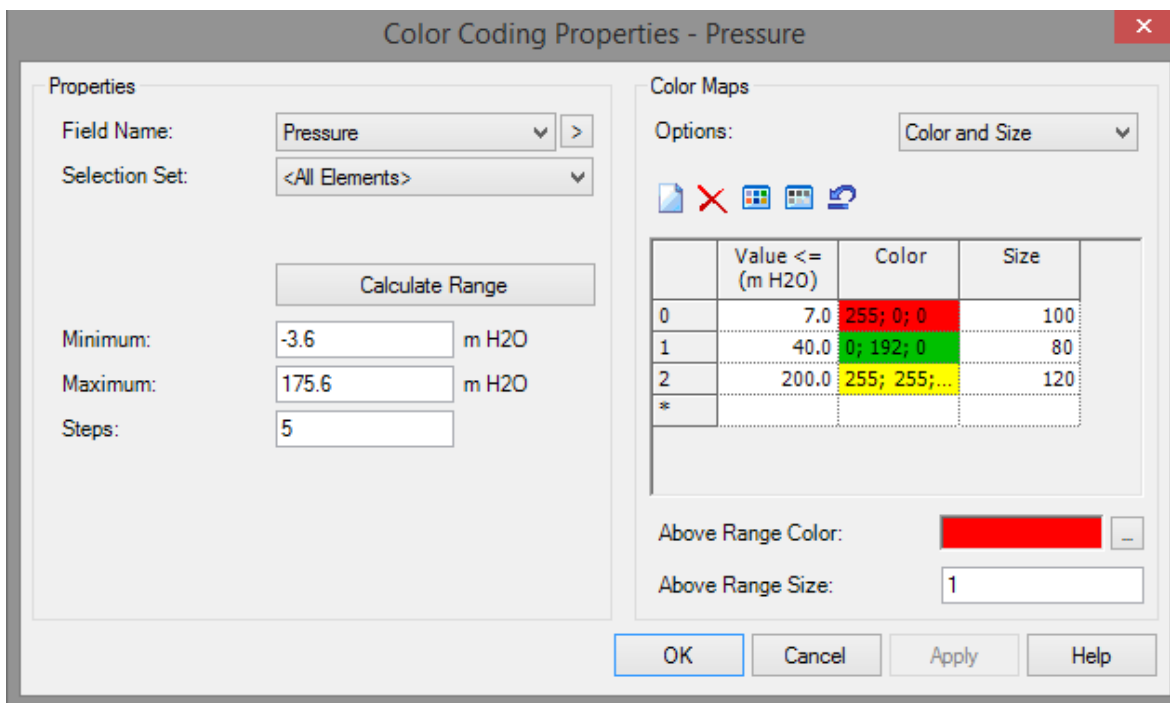
**Presiones.-** En un modelo hidráulico de una red de abastecimiento las presiones que están presentes son las llamadas presiones de funcionamiento o de servicio que representan la presión interna que aparece en un instante cualquiera en un



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

punto determinado de la red (17). Los lugares clave donde se necesitan chequear las presiones son los nudos.

Los parámetros a utilizarse son:



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 3. 6:** CUADRO DE SIMBOLOGÍA PARA PRESIONES EN LOS NUDOS

En la tabla donde se observan 3 colores es dónde se establecen los rangos de presiones aceptables para el sistema.

A continuación se muestran los valores límite de las presiones que se pueden presentar en una red de distribución de agua potable según la norma CO 10.7 – 602 del CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS.

*La presión estática máxima será de  $4 \text{ kg/cm}^2 \approx 40 \text{ mca}$ .*

*La presión dinámica máxima será de  $3 \text{ kg/cm}^2 \approx 30 \text{ mca}$ .*

*La presión dinámica mínima será de  $0.7 \text{ kg/cm}^2 \approx 7 \text{ mca}$ .*

Como podemos ver en la imagen 3.6 los rangos se distribuyen respetando los criterios planteados anteriormente:





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- En la primera fila se seleccionan los valores menores a 7 mca, esto quiere decir que la presión de la red no es lo suficientemente fuerte como para llegar a ese punto en específico, por lo que no existe la posibilidad de brindar el servicio de agua en ese nudo, aunque se pueden dar alternativas como un sistema de bombeo para esa zona.
- En la segunda fila se seleccionan los valores que están entre 7 y 40 mca. Estas presiones son las más adecuadas para un sistema de agua, pero la norma de diseño nos dice que cada punto del sistema debe tener una presión dinámica mínima para garantizar el funcionamiento adecuado de todos los accesorios que se encuentran dentro de una vivienda.
- En la tercera fila se seleccionan los valores mayores a 40 mca. Estas presiones son altas para la red, por lo que se recomienda instalar válvulas reductoras de presión o dividir en nuevas zonas de presión de servicio que cuenten con tanques rompe presiones (23).

En un sistema de agua no pueden existir presiones negativas, ni tampoco es recomendable presiones muy altas para que la presión a lo largo de toda la red este equilibrada. Conseguir este funcionamiento en una red es complicado por esta razón el enfoque en el campo de la operación y el mantenimiento de un sistema de abastecimiento es tan importante, por eso cualquier cambio que se realice en la red debe ser reevaluado lo más pronto posible.

**Velocidades.-** Para el caso del control de velocidades en un sistema de agua potable la red de distribución debe mantener un rango adecuado de velocidades, ya que si son muy bajas se pueden formar asentamientos de partículas en la tubería y en el caso de que la velocidad del fluido sea muy alta puede generar erosión de la tubería (5).

Lo aconsejable según (6) al momento de evaluar un sistema de abastecimiento de agua potable es que las velocidades cumplan las siguientes condiciones:

Velocidad mínima de 0,3 m/s

Velocidad máxima de 2,0 m/s

Para el caso de velocidades mayores a las velocidades máximas lo recomendable cambiar la tubería actual por una de mayor tamaño.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**Diámetros.-** Los criterios para un buen manejo de los diámetros de las tuberías en un sistema de agua están en función de los caudales que pasan a través de ellos, pero para el caso de sistemas de agua potable existentes donde un diseño ya fue ejecutado lo más adecuado es que verifiquemos que cumpla con los diámetros mínimos para redes de distribución como lo especifica la norma CO 10.7 – 602 del CÓDIGO ECUATORIANO PARA EL DISEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SANITARIAS, en su sexta parte correspondiente a sistemas de agua potable, en la sección de distribución de agua potable dice: “*El diámetro nominal mínimo de los conductos de la red será de 19mm (¾”)*”.

**Pérdidas de carga.-** Las pérdidas de carga estas relacionadas proporcionalmente a la velocidad y a la longitud de la tubería e inversamente proporcional al diámetro de la tubería, además como la norma ya establece un rango de velocidades mínimas y máximas sólo es necesario calcular las pérdidas unitarias de estos rangos. Para el cálculo de la pérdida de carga se utilizó la fórmula experimental de Hazen y Williams:

$$j = 10,643 * Q^{1.85} * C^{-1.85} * D^{-4.87}$$

Ecuación 3-5

**Fuente:** ROBERT L. MOTT, MECÁNICA DE FLUIDOS (SEXTA EDICIÓN)

Dónde:

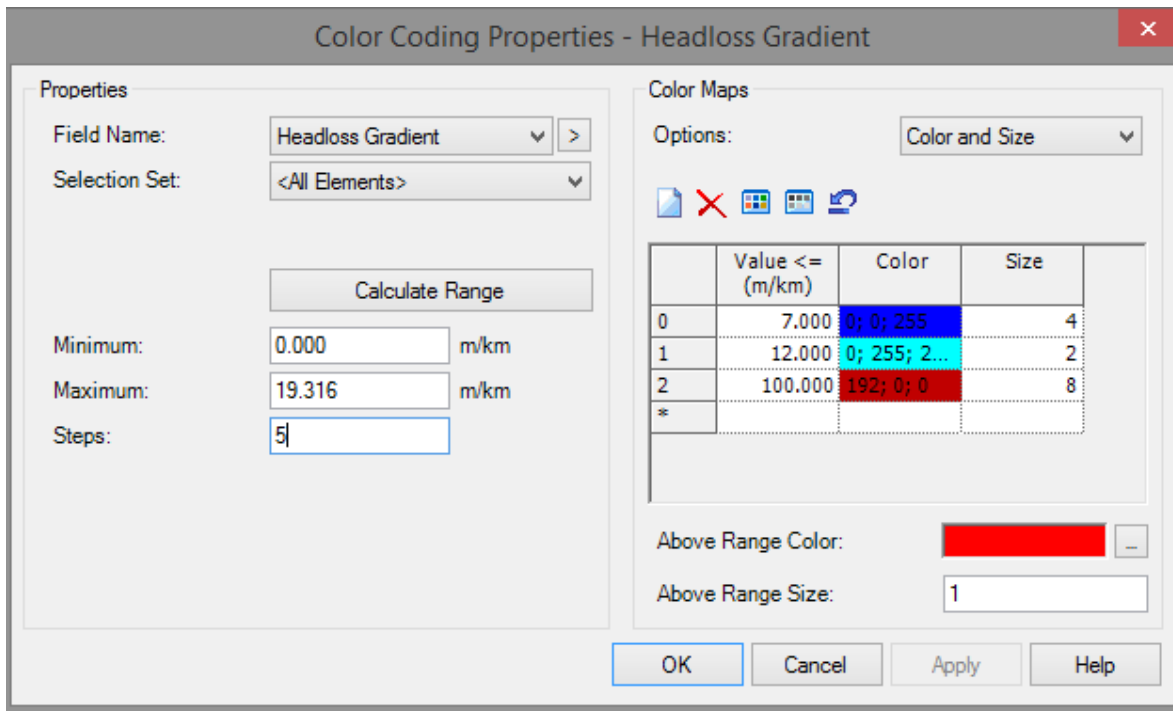
Q= caudal (m<sup>3</sup>/s).

C= Coeficiente de Hazen y Williams (adimensional).

D= Diámetro de la tubería (m).



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 3.7:** CUADRO DE SIMBOLOGÍA PARA PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS

En la imagen 3.7 se muestra la tabla donde se observan 3 colores que establecen los rangos de las pérdidas de carga calculados para el sistema a partir de las velocidades límite establecidas en la guía de diseño (6). La unidad de medida escogida para la evaluación de las pérdidas está expresada en metros por cada kilómetro de tubería (m/km), y como también podemos ver en la tabla los rangos se distribuyen de la siguiente forma:

- En la primera fila se seleccionan los valores menores a 7 m/km. Cuando tenemos pérdidas de esta magnitud quiere decir que la tubería está sobredimensionada y que las velocidades de esta tubería son muy bajas, por lo que se recomienda que su diámetro sea menor. Esta característica de los sistemas no es un gran problema para el funcionamiento adecuado del sistema, ya que no afecta de manera significativa a los usuarios de la red de agua, teniendo en cuenta que la pérdida de carga y la velocidad son independientes de la presión en las tuberías.
- En la segunda fila se seleccionan los valores que se encuentran en el rango de 7 a 12 m/km. Este rango de pérdidas unitarias corresponden al rango de



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

velocidades normales para una red de abastecimiento de agua potable revisado anteriormente.

- En la tercera fila se seleccionan los valores mayores a 12 m/km. Cuando existen tuberías que sobrepasan el límite de pérdidas admisibles significa que presentan velocidades altas, por lo que se debe considerar de inmediato por los encargados del mantenimiento del sistema para que las cambien por tuberías de mayor diámetro.

## **CAPITULO CUARTO**

### **4. MODULACIÓN HIDRÁULICA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN**

#### **4.1. Aislar y clasificar los elementos y unidades hidráulicas**

Siempre la organización de los elementos o componentes de una red de agua es importante para el control y registro del inventario que posee la empresa ETAPA EP. El inventario no solo tiene el propósito de establecer magnitudes económicas de un proyecto con respecto a los costos de todos los elementos que forman parte de una red como: tuberías, tees, tapones, válvulas, tanques, etc., sino que permite al administrador de la red de distribución tener una imagen global de lo que el sistema posee y por lo tanto de lo que carece.

##### **4.1.1. Redes de agua**

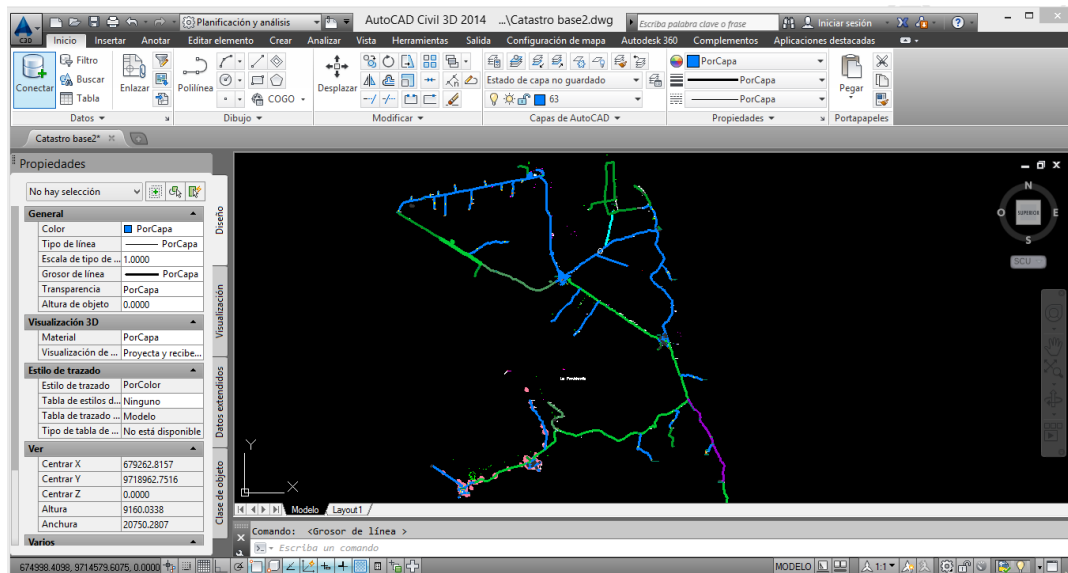
Las redes de un sistema son las tuberías y serán configuradas a través del manejo del programa CivilCad que se enfocará sólo en el uso de las herramientas y procesos necesarios para editar, insertar, definir y exportar las características que se utilizarán en el modelo final de las redes.

Las tuberías que conforman la red de agua son obtenidas del catastro base del sistema, que fue generado mediante los procedimientos explicados en la sección 4.2.4. Para la manipulación de las tuberías de distribución se utilizará el software CivilCad, que es el programa más adecuado para el manejo de redes. Para comenzar con la configuración de la red primero todas las tuberías deben pertenecer a una capa diferente que las distinga. Por ejemplo, si tenemos una



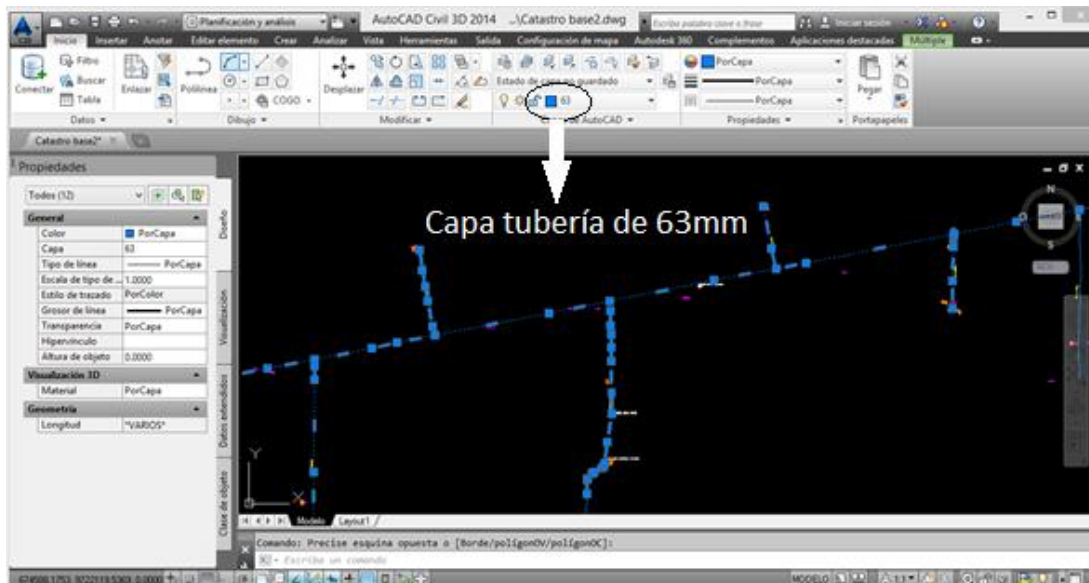
UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

tubería de 63 mm, creamos una capa que se llame 63 y que tenga un color distintivo. Entonces todas las tuberías de 63 mm van a estar dentro de esta capa, de la misma forma va a pasar con todas las tuberías de distinto diámetro que tengamos en el sistema.



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.1:** TUBERÍAS DEL SISTEMA DE AGUA JESÚS DEL GRAN PODER



*Elaborado por:* AUTOR

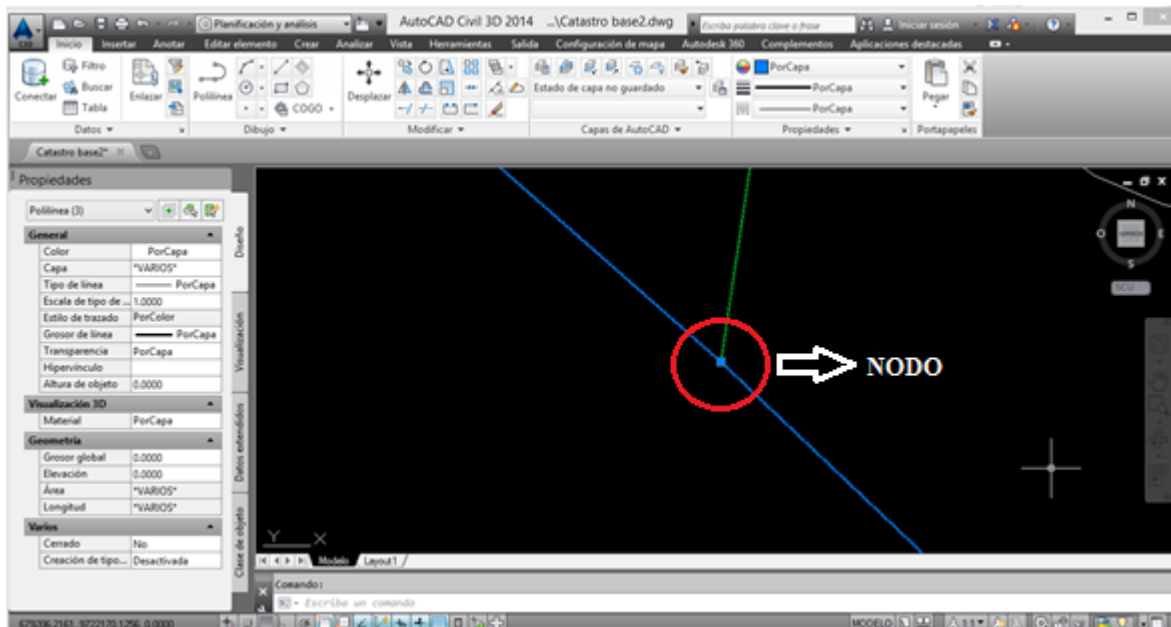
**Imagen 4.2:** CONFIGURACIÓN POR CAPAS



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

También las tuberías deben ser trazadas como POLILINEAS, esto es importante porque al momento de exportarlas a ArcMap o WaterGems se podrá trabajar sobre ellas sólo si cumplen con esta condición.

Además, todas las POLILINEAS que representan tuberías deben cortarse en las intersecciones para así generar los nudos (juntions) del sistema, que luego serán cargados con los consumos del sistema.



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.3:** NUDOS DE LA RED

La red de distribución de agua potable de Jesús del Gran Poder está configurada por tuberías con diámetros de: 32 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm, 110 mm y 160 mm. A continuación se presentará la tabla resumen de todas las tuberías existentes en el sistema con su respectivo diámetro, material y cantidad.

Resumen de tuberías			
Diámetro (mm)	Material	Cantidad	Longitud Total(m)
32	PVC	15	9217.24
40	PVC	4	1261.46
50	PVC	4	3407.4
63	PVC	116	32060.73
110	PVC	18	13457.03
160	PVC	3	2462.38
Total de tuberías=		160	

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.1:** TABLA RESUMEN DE TUBERÍAS





#### 4.1.2. Accesorios

Los accesorios que desglosaremos a continuación son las tees, los tapones y los reductores de sección que son los más abundantes de la red.

Es necesario también conocer cómo cargar estos accesorios dentro de un dibujo de AutoCAD, el proceso se lo explicará a continuación:

- Tapones.- Es importante que al final de todas las tuberías insertemos tapones, que justamente representan el fin de una tubería.

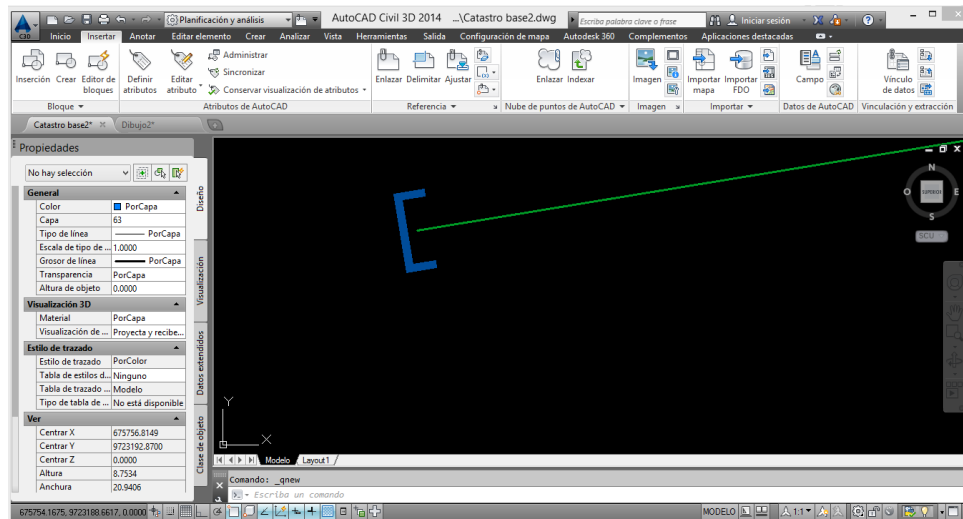
Primero se escribe el código *Insert* y nos aparece la siguiente ventana:

**Elaborado por:** AUTOR  
**Imagen 4.4:** VENTANA DE ACCESORIOS

Ahora donde dice *Nombre:* seleccionamos 100\_tap que es el objeto que representa un tapón y le damos aceptar, luego lo ubicamos donde sea necesario para que en el dibujo se vea de la siguiente manera:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

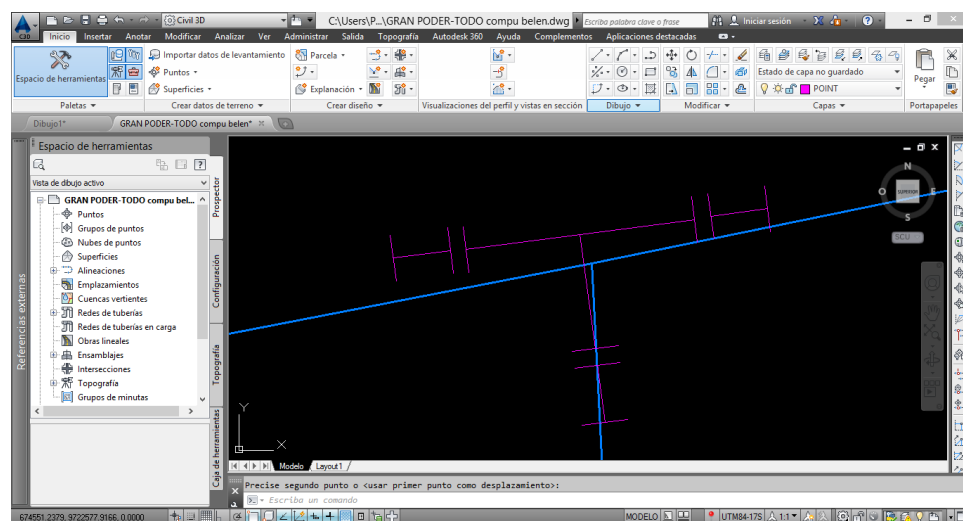


**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.5:** VISUALIZACIÓN DE TAPÓN

Nota: Este objeto fue desarrollado por la empresa E.T.A.P.A. EP como estándar dentro de sus catastros, pero se puede crear cualquier otro tipo de objeto que represente lo mismo. Además estos bloques cuentan con características específicas ubicadas en un *object data*.

- Tees.- El proceso para insertar los bloques de tees es el mismo que para tapones. Las tees se colocan cuando una red principal tiene una ramificación, y se ven de la siguiente forma:



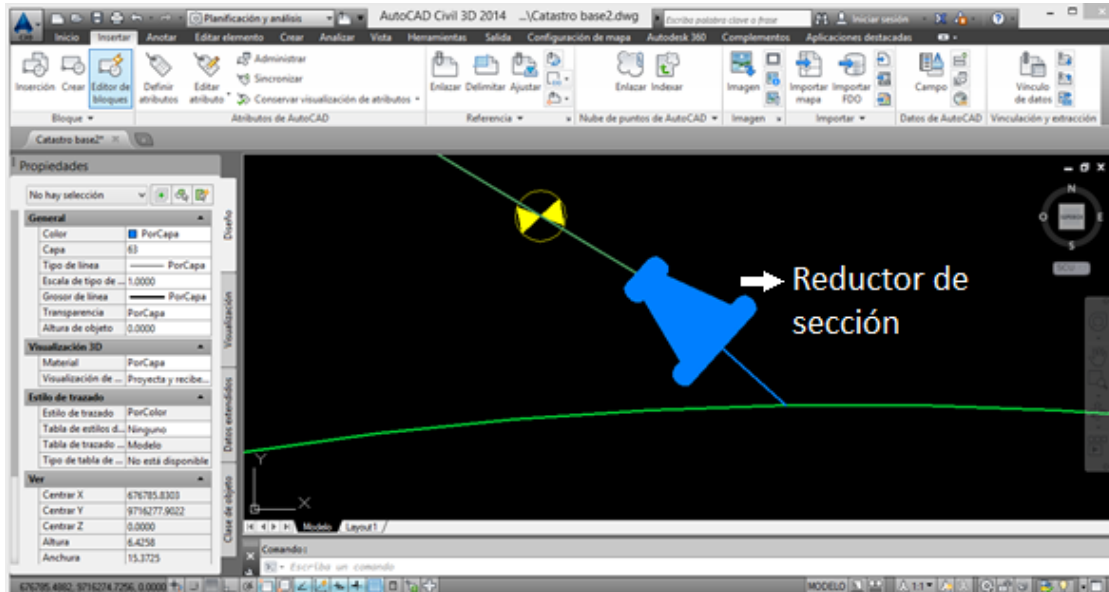
**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.6:** VISUALIZACIÓN DE TEE



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- Reductores de sección.- estos accesorios tienen la función de disminuir el diámetro de una tubería grande a una más pequeña.



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.7:** VISUALIZACIÓN DE REDUCTORA DE SECCIÓN

Es necesario que se carguen todas las tees, reductores y los tapones que requiera el sistema para poder contabilizarlos e identificarlos. Las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 nos muestran el resumen de estos accesorios.

Resumen de accesorios							
Tipo	φ 32 mm	φ 40 mm	φ 50 mm	φ 63 mm	φ 110 mm	φ 160 mm	Total
Tapón	12		1	43			56
Tee		1	1	57	16	2	77
Reductores		1	2	11	1	1	16
Total de accesorios=							149

**Elaborado por:** AUTOR

**TABLA 4. 2:** TABLA RESUMEN DE REDUCTORES DE SECCIÓN, TEES Y TAPONES

Clasificación de accesorios Tee						
φ 40x32 mm	φ 40x40 mm	φ 50x32 mm	φ 63x32 mm	φ 63x63 mm	φ 110x63 mm	φ 160x110 mm
1	1	1	4	52	16	2

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.3:** CLASIFICACIÓN DE ACCESORIOS TEE



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

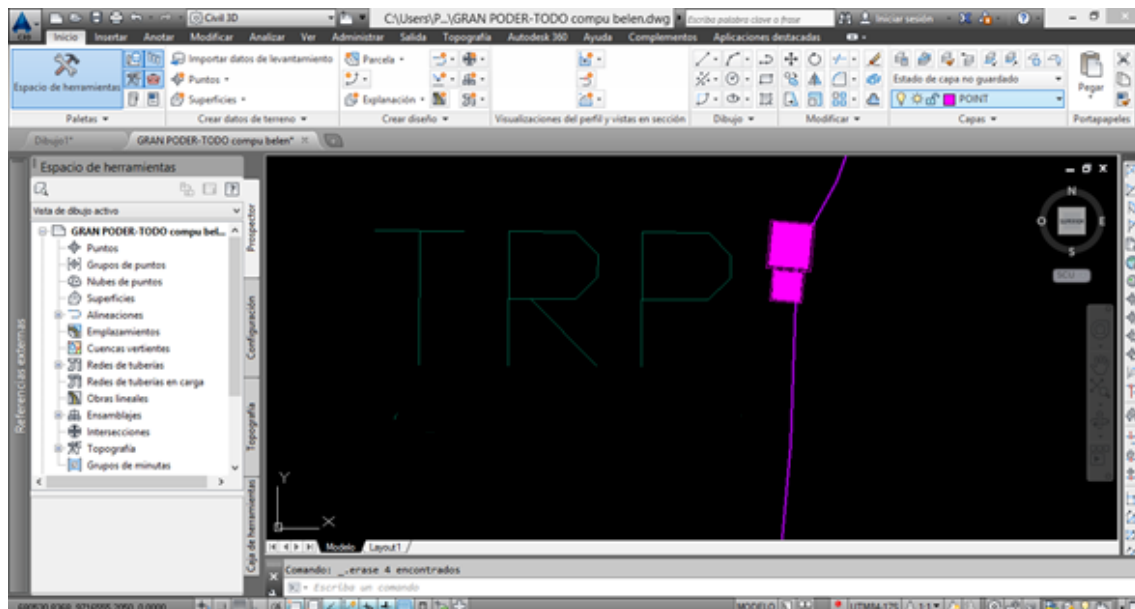
Clasificación de reductores							
φ 40x32 mm	φ 50x32 mm	φ 50x40 mm	φ 63x32 mm	φ 63x40 mm	φ 63x50 mm	φ 110x63 mm	φ 160x110 mm
1	1	1	9	1	1	16	2

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 4.4:** CLASIFICACIÓN DE REDUCTORES DE SECCIÓN

#### 4.1.3. Rompe presiones

Los tanque rompe presiones se colocan en la red con la finalidad de disminuir la presión hidrostática que tiene la red en una zona de servicio determinada a cero. En toda la red existen **5** tanques rompe presiones.



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.8:** VISUALIZACIÓN DE TANQUE ROMPE PRESIONES

Tanque rompe presión (5 unidades)			
Descripción	Cantidad	Diámetro de entrada y de salida	Elevación (msnm)
Ramal P22 - P8	1	110 mm x 1.0 Mpa	189.48
Ramal P21 - P22	1	110 mm x 1.0 Mpa	229.74
Ramal P24 - P23	1	160 mm x 1.0 Mpa	317.86
Ramal tub 1127 - P3	1	110 mm x 1.0 Mpa	353.79
Ramal P1 - P2	1	110 mm x 1.0 Mpa	248.46

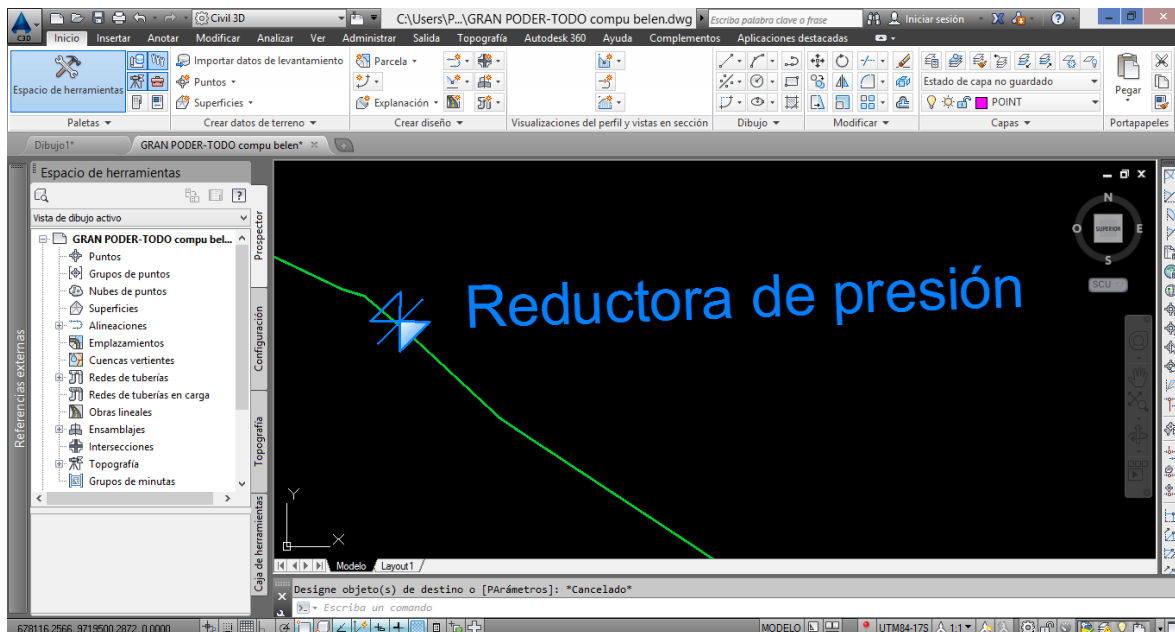
*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 4.5:** TABLA RESUMEN DE TANQUE ROMPE PRESIONES



#### 4.1.4. Reductores de presión

Como reductor de presión se ha utilizado la válvula reductora de presión que cumple la función de disminuir la presión hasta un nivel aceptable para que desde ese punto en adelante se tenga presiones estables y dentro del rango adecuado. Esta red de agua tiene una sola válvula reductora de presión y está ubicada en el ramal P1-P2 con un diámetro de 110 mm x 1,0 Mpa.



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.9:** VISUALIZACIÓN DE VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN

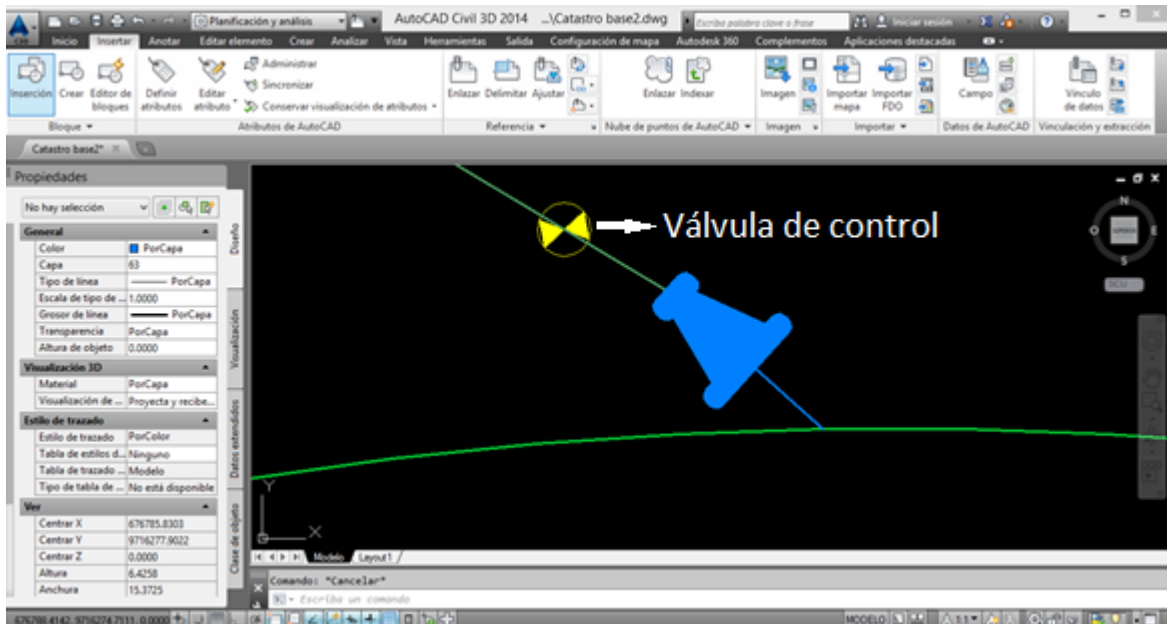
#### 4.1.5. Válvulas de control

Con este elemento se hizo el análisis de sectorización de la red desarrollado en la sección 4.3.1, ya que justamente nos permiten aislar sectores para la realización del mantenimiento de una zona en específico.

Para insertar este bloque aplicamos la misma rutina que se usa para todos los accesorios del sistema de Jesús del Gran Poder.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.10:** VISUALIZACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL

A continuación se presenta la tabla 4.6 que nos informa información básica de las válvulas existentes del sistema:

Diámetro (mm)	Elevación (msnm)	Identificador	Tubería de referencia
50	129.02	val1014	tub1142
50	86.53	val1027	tub1159
63	81.89	val1001	tub1083
63	81.89	val1002	tub1072
63	80.74	val1003	tub1145
63	64.09	val1004	tub1080
63	64.98	val1005	P-14
63	120.70	val1006	tub1059
63	128.30	val1008	P-18
63	128.14	val1009	P-20
63	127.73	val1010	tub1031
63	198.26	val1017	tub1049
63	192.70	val1018	tub1042
63	188.73	val1020	tub1129
63	64.03	val1021	tub1054



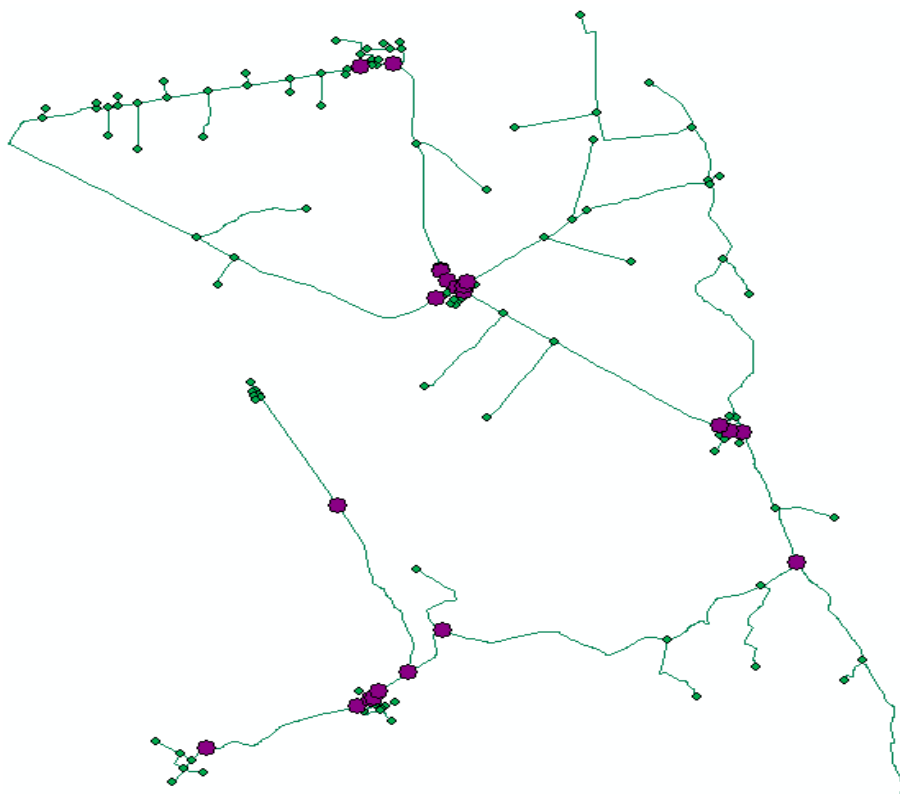


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

63	64.33	val1022	tub1138
63	63.94	val1023	tub1066
63	61.06	val1024	tub1131
63	60.00	val1025	tub1140
63	60.00	val1026	tub1120
110	125.70	val1007	tub1029
110	125.55	val1011	tub1021
110	131.12	val1012	tub1141
110	106.51	val1013	tub1141
110	282.74	val1015	tub1126
110	188.80	val1019	P-2
160	282.54	val1016	tub1154

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.6:** TABLA DE RESUMEN DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.11:** UBICACIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL EN EL SISTEMA

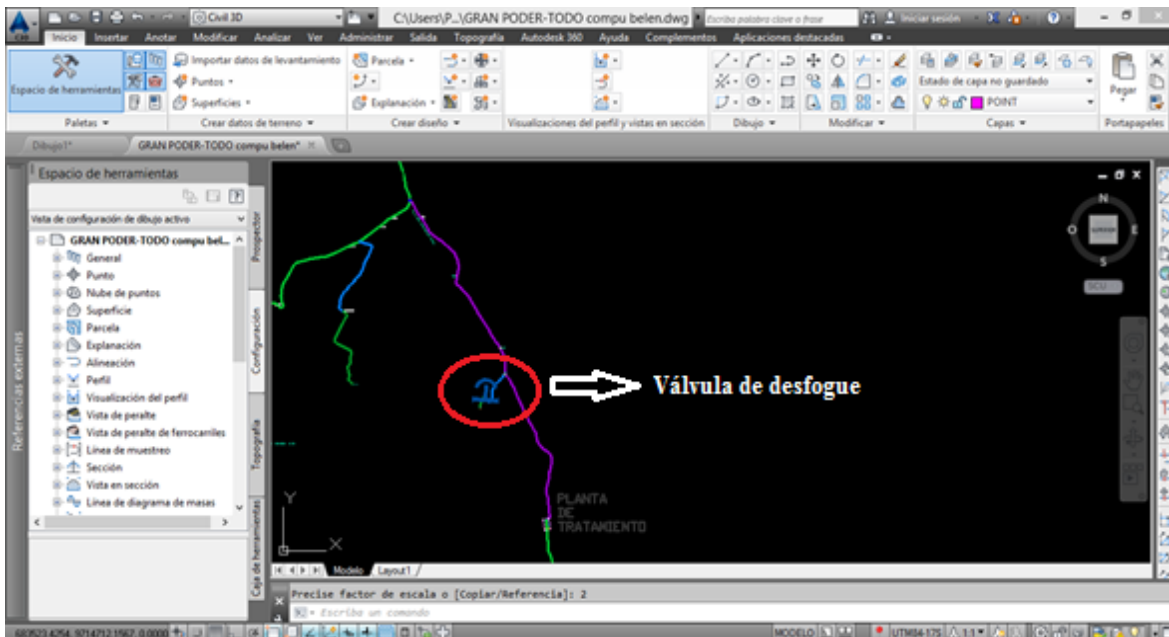


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Los puntos morados representan las válvulas de control que se encuentran distribuidas en toda la red.

#### 4.1.6. Válvulas de desfogue

En la red de distribución sólo existe una válvula de desfogue que está ubicada sobre la tubería que tiene como identificador “tub1026”.



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.12:** VISUALIZACIÓN DE LA VÁLVULA DE DESFOGUE

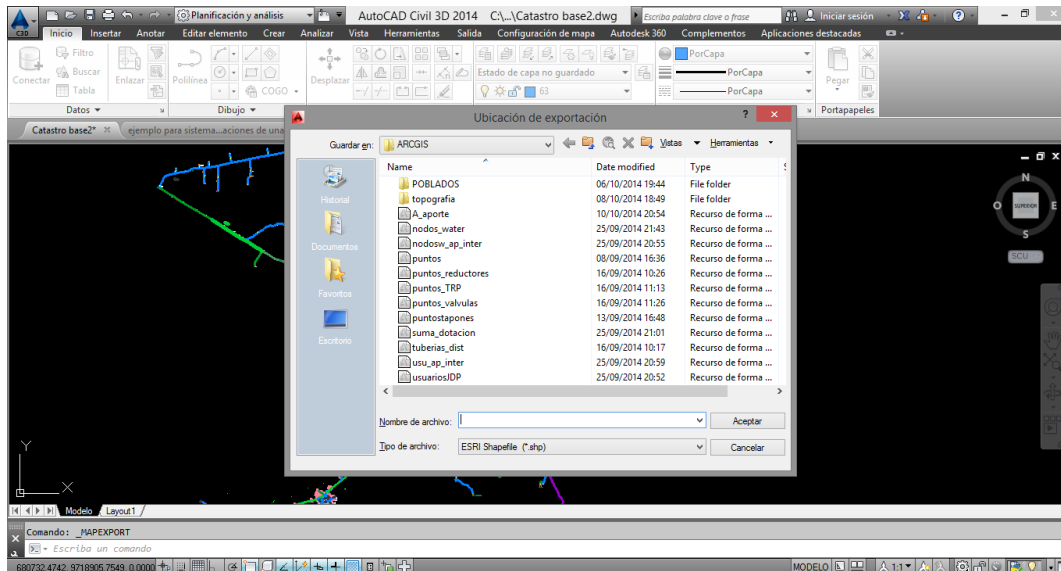
#### Exportar accesorios

La herramienta de exportación de datos es muy importante para contar con la opción de manipular todos los elementos generados en el catastro y usarlos en la modelación del sistema. Para poder exportar estos accesorios es necesario seguir los siguientes pasos:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

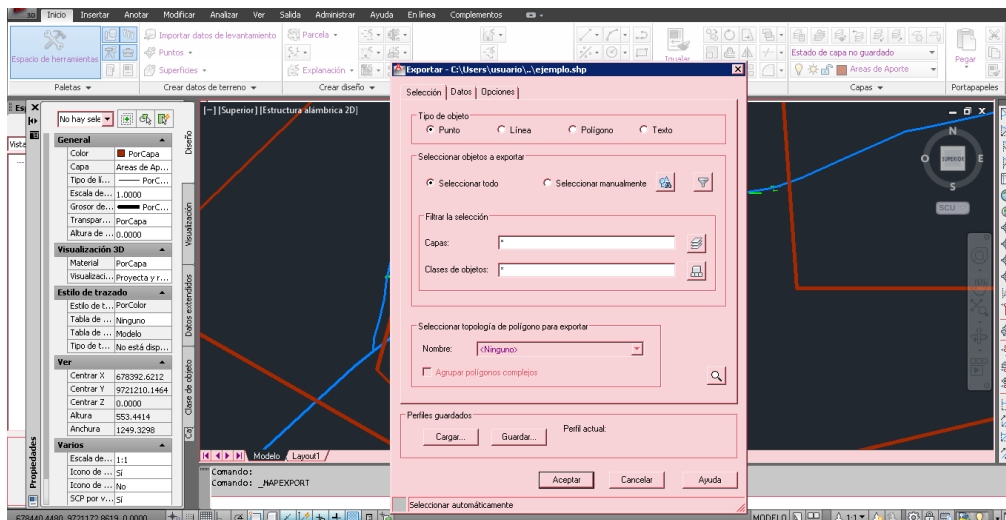
- 1) Tipiamos *Mapexport* y le damos “*enter*”, y nos aparecerá una ventana como esta:



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.13:** VENTANA DE EXPORTACIÓN DE COMPONENTES

- 2) Le damos un nombre que corresponda al accesorio que vamos a exportar, por ejemplo si estamos yendo a exportar las válvulas de control podemos poner “puntos\_val\_control”. Luego guardamos el archivo tipo shape en la ubicación deseada y le damos “*enter*” para que nos aparezca la siguiente ventana:



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.14:** VENTANA DE FILTRACIÓN DE ACCESORIOS



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

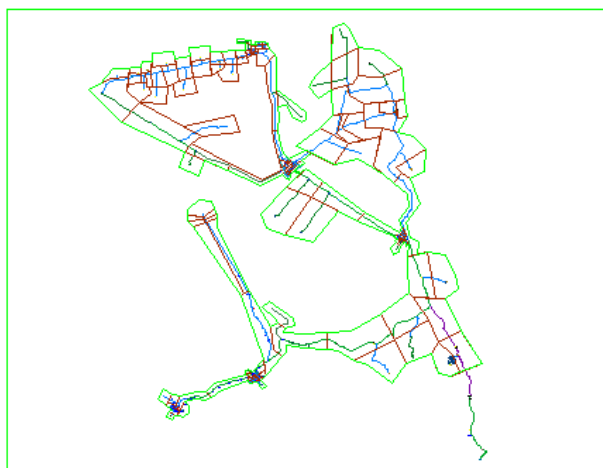
- 3) Seleccionamos los accesorios que queremos exportar y le damos aceptar, de esta manera se generan archivos tipo que son compatibles tanto con ArcMap como con WaterGems. Con esta opción se puede además exportar características geométricas y geográficas, como también el tipo de línea, grosor, color, etc.

#### **4.2. Asignación de propiedades utilizando herramientas GIS**

Un Sistema de Información Geográfico (GIS en sus siglas en inglés) es una herramienta muy poderosa para editar, crear y procesar bases de datos de cualquier elemento desde un punto hasta un complejo mapa mundial. A continuación se presentarán los procesos necesarios para editar los elementos que forman parte de un sistema de agua potable.

##### **4.2.1. Determinación de áreas de servicio**

Para el trazado de las áreas de servicio se deben seguir los mismos procedimientos y conceptos que se emplearon para la estimación del área de cobertura global del sistema, con la única diferencia de que se necesita un área para cada nudo y puntos finales de las tuberías tomando en cuenta que estas áreas no pueden intersectarse ni tampoco pueden salirse del área que ya está determinada por el área de cobertura. Lo único que es necesario es generar desde CivilCad es un polígonos cerrados con POLILÍNEAS para cada una de las áreas. Además, todas estas POLILÍNEAS deben pertenecer a una misma capa que las distinga.



**Elaborado por:** AUTOR

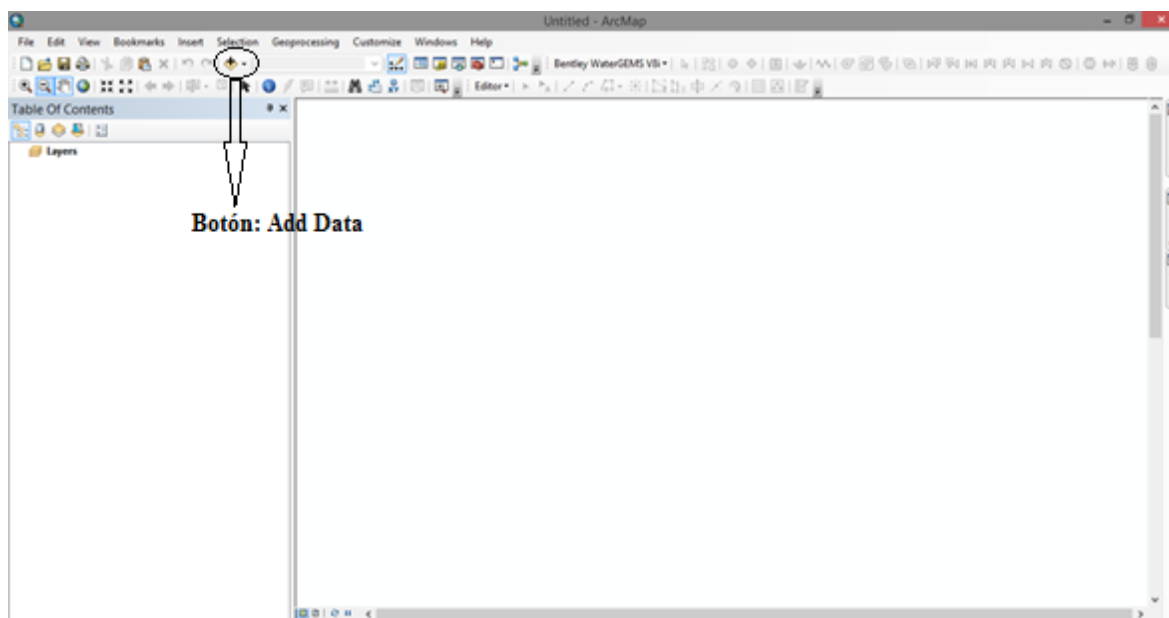
**Imagen 4.15:** TRAZADO DE LAS ÁREAS DE APORTE EN CIVILCAD



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

En el anexo 2 se encuentran los planos donde se puede ver más claramente tanto las áreas de aporte como todos accesorios que forman parte de la red.

En el proceso de asignación de propiedades con herramientas GIS se comienza con la configuración de las tuberías. A continuación se presentan los diferentes procedimientos para poder cargar al programa WaterGems. Primero cargamos el esqueleto de una red de abastecimiento de agua potable que es la tubería, para lo cual debemos hacer lo siguiente:



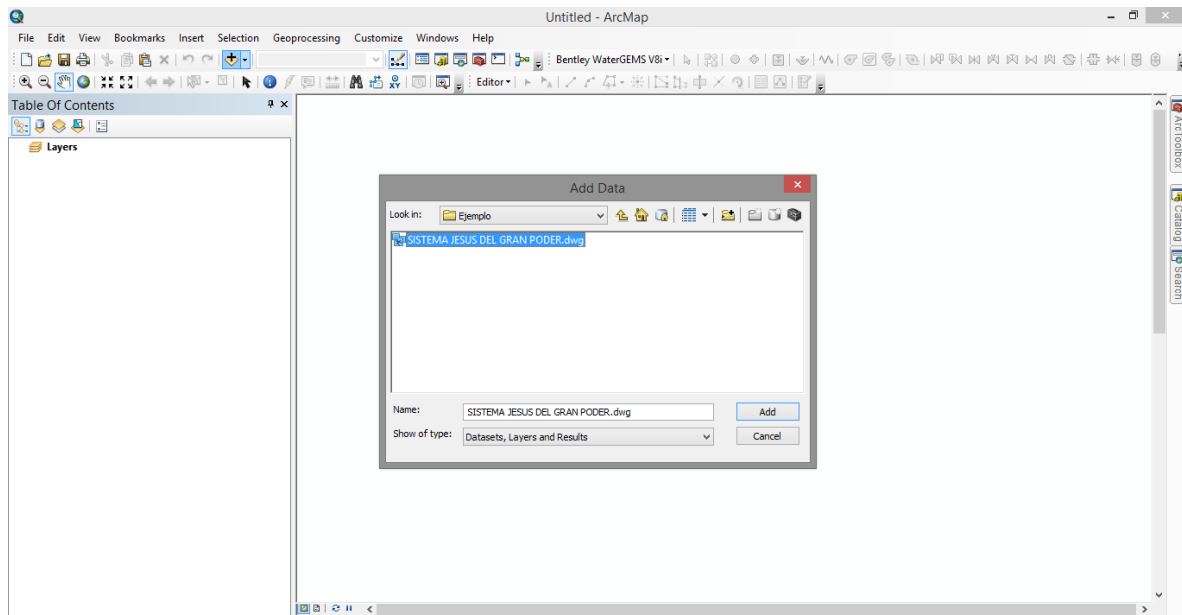
**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.16:** INTERFAZ DE ARCMAP

Nos dirigimos hacia el botón “Add Data” que vemos en la imagen 4.16, y le damos un click, se desplegará un buscador del explorador de Windows que nos permitirá encontrar el documento que necesitamos. Luego abrimos el catastro que teníamos en CivilCad ya que todo archivo con extensión .dwg o .dxf es compatible con ArcMap.



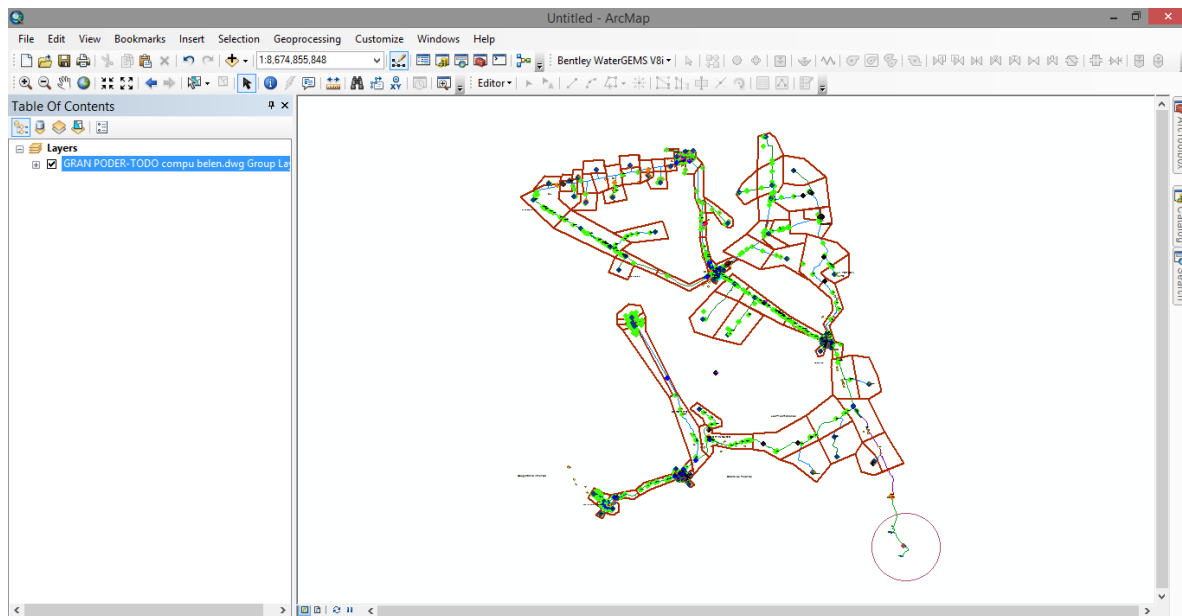
UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.17:** CARGANDO UN ARCHIVO DWG EN ARCMAP

Damos un click en *Add* y se nos abre el catastro.



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.18:** VISUALIZACIÓN DE CATASTRO DE REDES Y USUARIOS



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Aquí se puede visualizar todos los elementos que posee el sistema. Para empezar sólo necesitamos las tuberías, por lo que procedemos a desplegar el layer del proyecto y abrimos la tabla de atributos de los elementos que son POLILÍNEAS.

The screenshot shows the ArcMap interface. On the left, the 'Table of Contents' pane displays a list of layers under the 'GRAN PODER-TODO compu belen.dwg' group. The 'Polyline' layer is selected and expanded. The main window displays the 'Attribute Table' for the 'Polyline' layer. The table has columns: FID, Shape, Entity, Layer, Color, Linetype, Elevation, LineWt, and RefName. The table contains 31 rows of data, all representing Polyline features with a Shape of 'POINT', Layer of 'POINT', Color of 'Continuous', Linetype of 'Continuous', Elevation of '0', and LineWt of '25'.

FID	Shape	Entity	Layer	Color	Linetype	Elevation	LineWt	RefName
1	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
2	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
3	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
4	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
5	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
6	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
7	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
8	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
9	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
10	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
11	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
12	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
13	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
14	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
15	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
16	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
17	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
18	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
19	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
20	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
21	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
22	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
23	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
24	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
25	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
26	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
27	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
28	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
29	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
30	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
31	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	

*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.19:** TABLA DE ATRIBUTOS DE LAS POLILÍNEAS

Como se puede notar existen muchas más polilíneas que sólo las de las tuberías por lo que necesitamos exportarlas a un nuevo shape file. Explicaré sólo esta vez el proceso de exportación que manejaremos y es el siguiente:

The screenshot shows the same ArcMap interface as before, but with a red circle highlighting the 'Select by Attributes' button in the top toolbar. The 'Attribute Table' for the 'Polyline' layer is still visible, showing the same 31 rows of data.

FID	Shape	Entity	Layer	Color	Linetype	Elevation	LineWt	RefName
1	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
2	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
3	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
4	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
5	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
6	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
7	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
8	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
9	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
10	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
11	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
12	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
13	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
14	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
15	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
16	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
17	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
18	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
19	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
20	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
21	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
22	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
23	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
24	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
25	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
26	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
27	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
28	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
29	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
30	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	
31	Polyline Z	Solid	POINT	6	Continuous	0	25	

*Elaborado por:* AUTOR

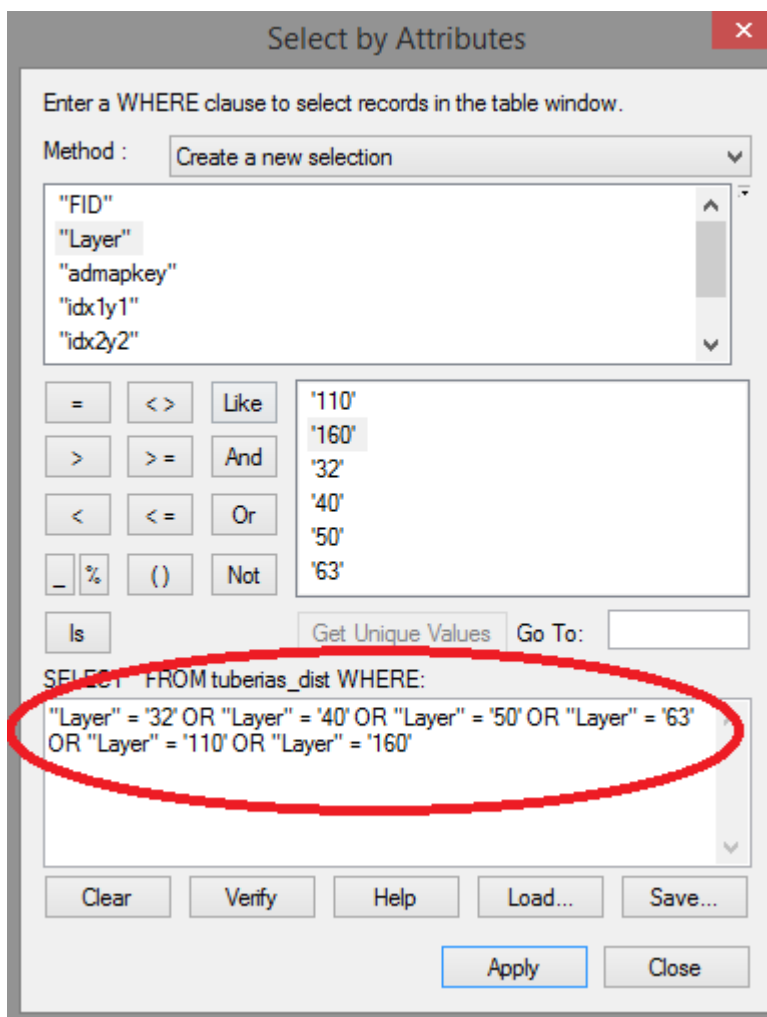
**Imagen 4.20:** USO DE LA HERRAMIENTA SELECT BY ATTRIBUTES





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Aplastamos sobre el botón *Select by Attributes* y se abre la ventana de selección, como teníamos diferenciadas a las tuberías por capas distintas, el atributo a utilizarse será el “Layer”, como son varios tipos de tuberías también utilizaremos el complemento “OR” para seleccionar todas las tuberías del sistema por completo. La selección quedaría de la siguiente forma:



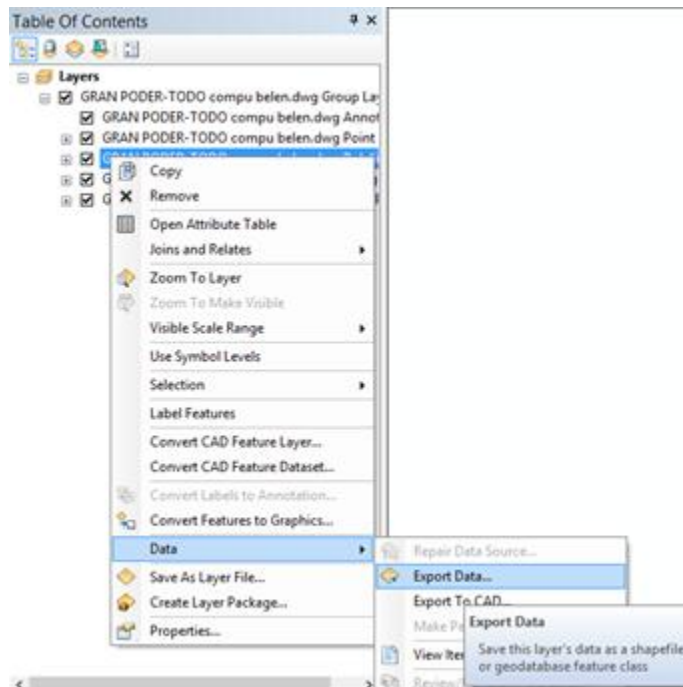
**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.21:** USO DEL LAYER PARA LA SELECCIÓN DE TUBERÍAS

Luego hacemos click en *Apply* y cerramos la tabla de atributos que se encuentra abierta, a continuación le damos click derecho a las polilíneas del catastro nuevamente pero en vez de abrir la tabla de atributos como hicimos anteriormente nos vamos a la pestaña de Data/Export Data y le damos un click.



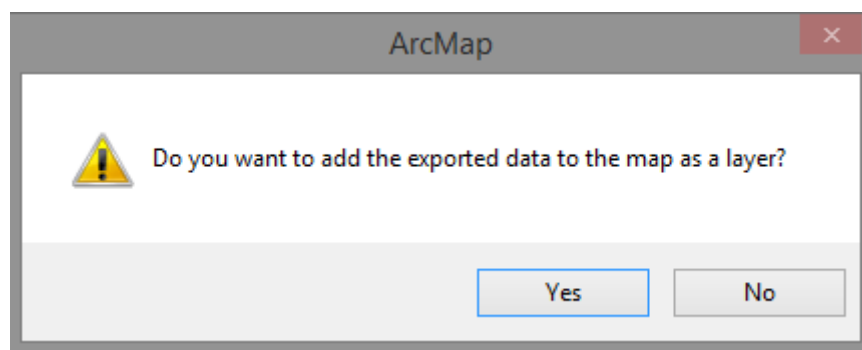
UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.22:** MANEJO DE LA TABLA DE ATRIBUTOS

Se abrirá una ventana que nos permitirá guardar el shape file donde queramos como si fuera un documento de Word o de Excel. Luego de guardar nos saldrá el siguiente aviso:



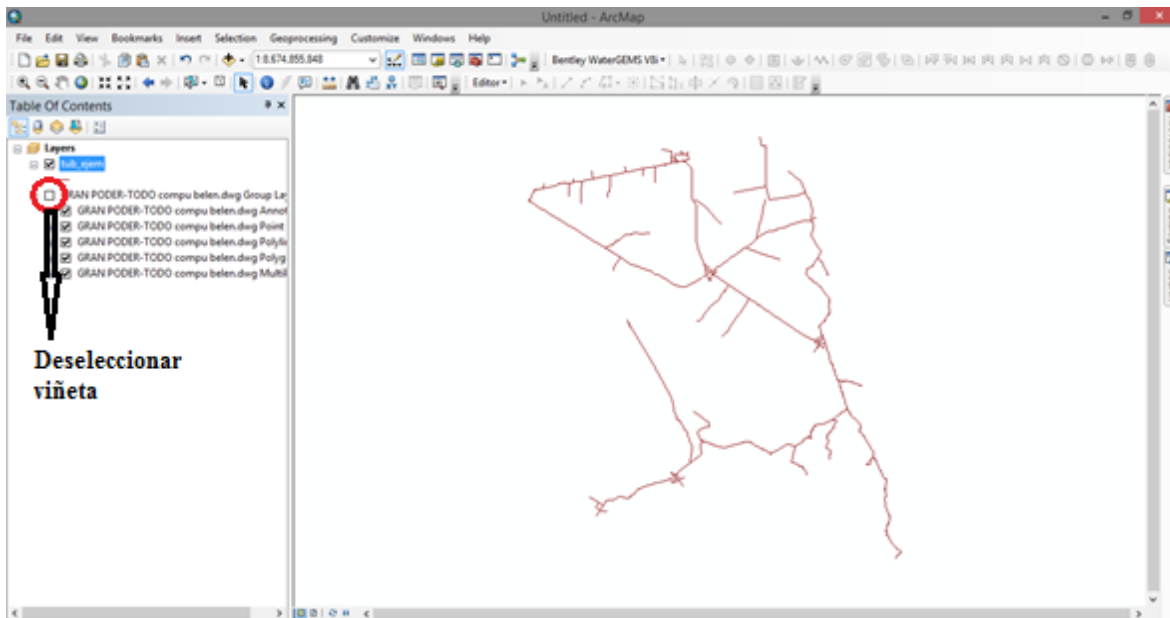
**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.23:** AVISO DE VISUALIZACIÓN



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

El aviso nos dice si queremos mostrar el layer que acabamos de crear en la ventana principal de la tabla de contenidos (Table Of Contents), hacemos click en Yes y se adjuntará un nuevo layer que para poderlo ver debemos deseleccionar la viñeta de visualización del layer principal del proyecto. Al aplicar estas instrucciones el proyecto quedaría de la siguiente forma:



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.24:** VISUALIZACIÓN DE TUBERÍAS

Ahora que ya tenemos nuestras tuberías en un layer podemos cargarlas al programa WaterGems. El objetivo de cargar primero las tuberías es que el programa genera, nombra e identifica (ID) los nudos del sistema, lo cual nos facilitará procesos que haremos más adelante en ArcMap.

Una vez creado el layer de tuberías debemos modificar la tabla de atributos de tal forma que contemos con la información necesaria para cargar todas las propiedades obligatorias que exige WaterGems. Los campos que deben estar en la tabla de atributos son: Layer, Admapkey, IDx1y1, IDx2y2 y por último el material de la tubería.

- El *Layer* es la capa que creamos en CivilCad y que nos muestra el diámetro de las tuberías.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- *Admapkey* es un campo que nos sirve para nombrar y numerar a las tuberías.
- *IDx1y1* e *IDx2y2* nos sirve para identificar el inicio y el fin de cada una de las tuberías.
- *Material* nos indica de que “material” está hecha la tubería. Las tuberías de este estudio son todas de PVC.

La tabla de atributos debería quedar de la siguiente manera:

FID	Shape *	Layer	admapkey	idx1y1	idx2y2	Material
0	Polyline ZM	63	tub1001	tub2001	tub3001	PVC
1	Polyline ZM	63	tub1002	tub2002	tub3002	PVC
2	Polyline ZM	63	tub1003	tub2003	tub3003	PVC
3	Polyline ZM	63	tub1004	tub2004	tub3004	PVC
4	Polyline ZM	63	tub1005	tub2005	tub3005	PVC
5	Polyline ZM	63	tub1006	tub2006	tub3006	PVC
6	Polyline ZM	63	tub1007	tub2007	tub3007	PVC
7	Polyline ZM	63	tub1008	tub2008	tub3008	PVC
8	Polyline ZM	63	tub1009	tub2009	tub3009	PVC
9	Polyline ZM	63	tub1010	tub2010	tub3010	PVC
10	Polyline ZM	63	tub1011	tub2011	tub3011	PVC
11	Polyline ZM	63	tub1012	tub2012	tub3012	PVC
12	Polyline ZM	63	tub1013	tub2013	tub3013	PVC
13	Polyline ZM	63	tub1014	tub2014	tub3014	PVC
14	Polyline ZM	63	tub1015	tub2015	tub3015	PVC
15	Polyline ZM	63	tub1016	tub2016	tub3016	PVC
16	Polyline ZM	40	tub1017	tub2017	tub3017	PVC
17	Polyline ZM	63	tub1018	tub2018	tub3018	PVC
18	Polyline ZM	110	tub1019	tub2019	tub3019	PVC
19	Polyline ZM	110	tub1020	tub2020	tub3020	PVC
20	Polyline ZM	110	tub1021	tub2021	tub3021	PVC
21	Polyline ZM	63	tub1022	tub2022	tub3022	PVC
22	Polyline ZM	63	tub1023	tub2023	tub3023	PVC
23	Polyline ZM	63	tub1024	tub2024	tub3024	PVC

**Elaborado por:** AUTOR

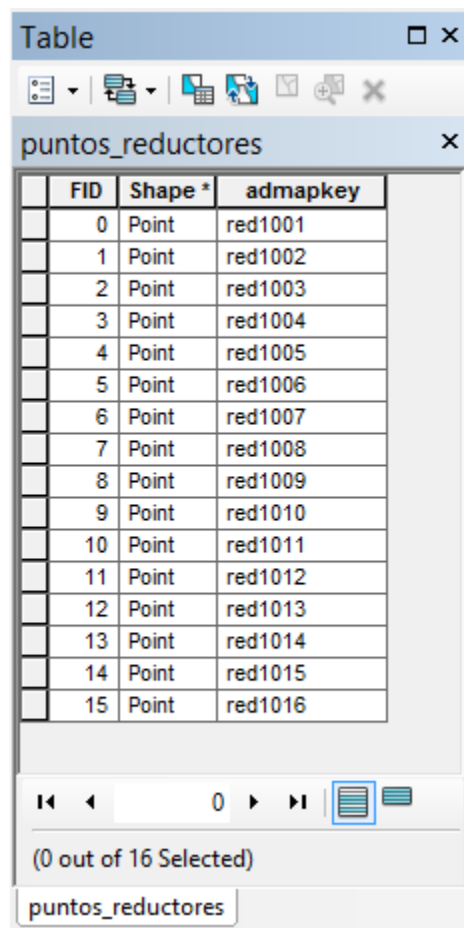
**Imagen 4.25:** CONFIGURACIÓN DE LA TABLA DE ATRIBUTOS DE LAS TUBERÍAS

Antes de cargar estas tuberías también debemos crear un layer de los reductores de sección, ya que estos accesorios no forman parte de la biblioteca de accesorios que tiene WaterGems es necesario identificarlos para poder diferenciarlos con los nudos normales del sistema, esto se entenderá mejor cuando se explique el tema en el programa WaterGems. Además, sirve para manejar el inventario y mantenimiento de la empresa E.T.A.P.A. EP.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Los reductores simplemente deben ser cargados como lo hicimos con el catastro, ya que es un shape file previamente exportado por CivilCad. La tabla de atributos debe quedar de la siguiente forma:



FID	Shape *	admapkey
0	Point	red1001
1	Point	red1002
2	Point	red1003
3	Point	red1004
4	Point	red1005
5	Point	red1006
6	Point	red1007
7	Point	red1008
8	Point	red1009
9	Point	red1010
10	Point	red1011
11	Point	red1012
12	Point	red1013
13	Point	red1014
14	Point	red1015
15	Point	red1016

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.26:** TABLA DE ATRIBUTOS DE REDUCTORES DE SECCIÓN

Luego de esto, la información generada deberá ser cargada en el programa WaterGems, el cual formará tablas de atributos para cada uno de los accesorios. Después se exportan todos los nudos a un archivo *shape file* para poder abrirlo desde ArcMap, este archivo necesita ser pulido y lo haremos a continuación.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

El *shape file* proveniente de WaterGems es el siguiente:

FID	Shape	DEMAND	ELEV	HGL	ID	LABEL	P	ZONEID	ZONE
0	Point	0	67.29	445.47	26	tub2112	3701.2	0	
1	Point	0	67.3	445.47	27	tub3112	3701.1	0	
2	Point	0	63.3	445.47	29	tub2070	3740.3	0	
3	Point	0	63.33	445.47	30	tub3070	3739.9	0	
4	Point	0	128.24	445.47	32	tub2101	3104.7	0	
5	Point	0	128.25	445.47	33	tub3101	3104.6	0	
6	Point	0	64.1	445.47	35	tub2052	3732.4	0	
7	Point	0	64.18	445.47	36	tub3052	3731.6	0	
8	Point	0	129.98	445.47	38	tub2097	3087.7	0	
9	Point	0	130	445.47	39	tub3097	3087.5	0	
10	Point	0	60	445.47	41	tub2088	3772.5	0	
11	Point	0	67.63	445.47	44	tub2144	3697.8	0	
12	Point	0	72.44	445.47	48	tub3152	3650.8	0	
13	Point	0	64.93	445.47	50	tub2053	3724.3	0	
14	Point	0	64.04	445.47	51	tub3053	3733	0	
15	Point	0	112.5	445.47	54	tub3153	3258.7	0	
16	Point	0	55.75	445.47	56	tub2017	3814.2	0	
17	Point	0	196.13	445.47	59	tub2047	2440.2	0	
18	Point	0	194.78	445.47	62	tub2044	2453.5	0	
19	Point	0	282.64	445.47	66	tub3154	1593.6	0	
20	Point	0	73.92	445.47	71	tub3156	3636.3	0	
21	Point	0	80.68	445.47	73	tub2079	3570.1	0	
22	Point	0	77.82	445.47	74	tub3079	3598.2	0	
23	Point	0	133.44	445.47	76	hib2033	3053.8	0	

*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.27:** NUDOS EXPORTADOS DESDE WATERGEMS

Aquí se encuentran todos los nudos del sistema incluyendo aquellos que representan a los reductores de sección, como se ve en la siguiente ventana:

FID	Shape	DEMAND	ELEV	HGL	ID	LABEL	P	ZONEID	ZONE
126	Point	0	115.61	445.47	304	tub3095	3228.3	0	
127	Point	0	95.48	445.47	310	tub3065	3425.3	0	
128	Point	0	117.56	445.47	316	tub2094	3209.2	0	
129	Point	0	60.06	445.47	318	tub3158	3771.9	0	
130	Point	0	100	445.47	320	tub2093	3381.1	0	
131	Point	0	52.65	445.47	322	tub2129	3844.5	0	
132	Point	0	64.64	445.47	324	tub3064	3727.1	0	
133	Point	0	0	445.47	339	red1001	4359.7	0	
134	Point	0	0	445.47	340	red1002	4359.7	0	
135	Point	0	0	445.47	341	red1003	4359.7	0	
136	Point	0	0	445.47	342	red1004	4359.7	0	
137	Point	0	0	445.47	343	red1005	4359.7	0	
138	Point	0	0	445.47	344	red1006	4359.7	0	
139	Point	0	0	445.47	345	red1007	4359.7	0	
140	Point	0	0	445.47	346	red1008	4359.7	0	
141	Point	0	0	445.47	347	red1009	4359.7	0	
142	Point	0	0	445.47	348	red1010	4359.7	0	
143	Point	0	0	445.47	349	red1011	4359.7	0	
144	Point	0	0	445.47	350	red1012	4359.7	0	
145	Point	0	0	445.47	351	red1013	4359.7	0	
146	Point	0	0	445.47	352	red1014	4359.7	0	
147	Point	0	0	445.47	353	red1015	4359.7	0	
148	Point	0	0	445.47	354	red1016	4359.7	0	

*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.28:** ELIMINACIÓN DE NUDOS QUE REPRESENTAN REDUCTORES DE SECCIÓN



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Todos estos nudos seleccionados no son necesarios para el análisis ya que no son puntos a los cuales se deba cargar una dotación, así que los eliminamos y creamos un nuevo campo para identificarlos con un *admapkey*. La tabla de atributos debe quedar de la siguiente forma:

FID	Shape	ID	admapkey
0	Point	233	nod1001
1	Point	240	nod1002
2	Point	132	nod1003
3	Point	213	nod1004
4	Point	199	nod1005
5	Point	228	nod1006
6	Point	279	nod1007
7	Point	257	nod1008
8	Point	120	nod1009
9	Point	168	nod1010
10	Point	231	nod1011
11	Point	56	nod1012
12	Point	271	nod1013
13	Point	292	nod1014
14	Point	187	nod1015
15	Point	235	nod1016
16	Point	281	nod1017
17	Point	76	nod1018
18	Point	138	nod1019
19	Point	98	nod1020
20	Point	79	nod1021
21	Point	62	nod1022
22	Point	59	nod1023
23	Point	35	nod1024

**Elaborado por:** AUTOR  
**Imagen 4.29:** TABLA CONFIGURADA DE NUDOS

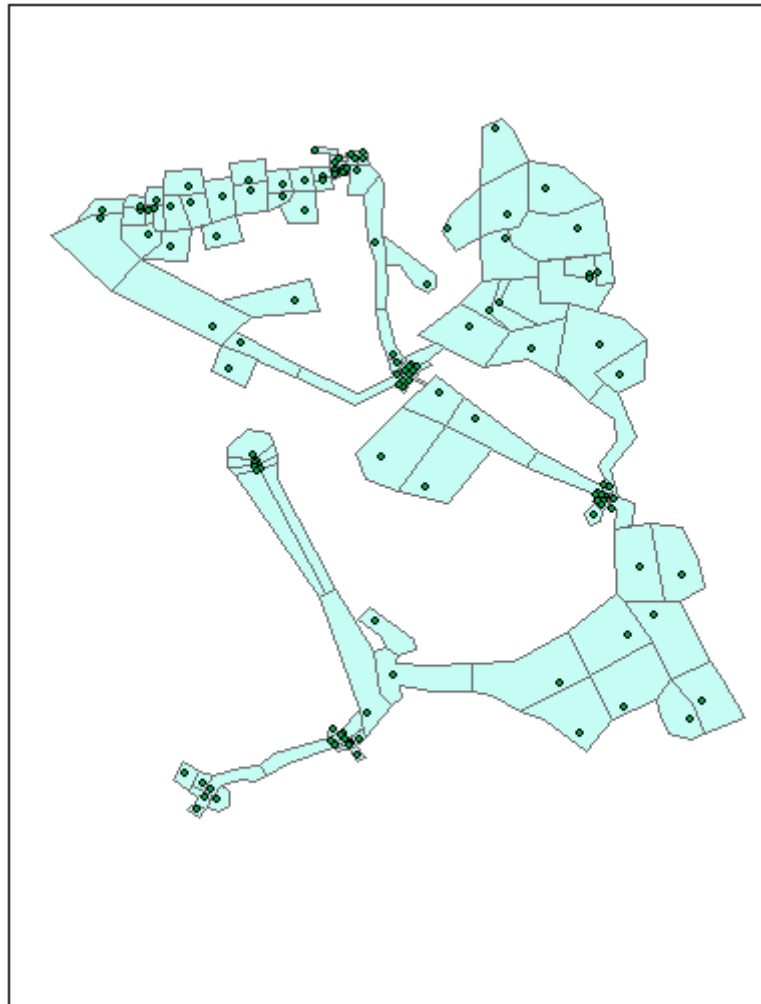
Ya con la tabla de nudos configurada necesitamos generar un *layer* aparte de las áreas de servicio, para lo cual simplemente seleccionamos los polígonos creados en CivilCad y los exportamos con un *export data* como lo hicimos con las tuberías, para obtener un archivo *shape file* donde reflejen las áreas.

Antes de realizar cualquier modificación dentro de la tabla de atributos de las áreas debemos cerciorarnos que existan el mismo número de nudos como de áreas de servicio. Luego debemos nombrar a las áreas de servicio con el valor del campo ID que teníamos en la tabla de atributos de los nudos para que al intersectar nudos con áreas exista una relación entre ellos.





Las áreas deben quedar de la siguiente manera:



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.30:** ÁREAS DE SERVICIO Y NUDOS

#### **4.2.2. Determinación de la cobertura del sistema**

El alcance que tiene una red de abastecimiento de agua potable está dado por la cobertura que sus tuberías establecen hasta sus diferentes puntos finales, por esto es tan importante determinar la extensión total de las redes. Como ya contamos con las redes en ArcMap simplemente calculamos la longitud de todas las tuberías y sumamos para saber la extensión completa del sistema. Así obtenemos la siguiente tabla:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Diámetro (mm)	Identificador	LONGITUD (m)	Diámetro (mm)	Identificador	LONGITUD (m)	Diámetro (mm)	Identificador	LONGITUD (m)
32	tub1046	54.96	63	tub1066	78.14	63	tub1023	592.34
32	tub1074	66.17	63	tub1037	80.80	63	tub1018	491.37
32	tub1062	142.02	63	tub1073	83.86	63	tub1114	542.93
32	tub1035	141.41	63	tub1147	109.92	63	tub1007	553.40
32	tub1155	165.96	63	tub1122	93.04	63	tub1009	536.83
32	tub1157	391.52	63	tub1089	97.30	63	tub1028	587.08
32	tub1055	376.71	63	tub1116	100.28	63	tub1061	676.92
32	tub1060	565.88	63	tub1078	102.78	63	tub1022	915.79
32	tub1039	708.20	63	tub1032	103.30	63	tub1095	884.68
32	tub1130	819.41	63	tub1080	104.69	63	tub1050	987.24
32	tub1139	905.37	63	tub1087	105.48	63	tub1131	917.82
32	tub1094	1114.62	63	tub1137	105.79	63	tub1124	1207.97
32	tub1093	1169.28	63	tub1115	107.17	63	tub1065	964.10
32	tub1123	1248.99	63	tub1015	110.52	63	tub1140	1049.35
32	tub1056	1323.63	63	tub1148	115.80	63	tub1158	1180.73
40	tub1144	3.50	63	tub1107	150.27	63	tub1064	1255.66
40	tub1017	5.26	63	tub1012	119.62	63	tub1083	1526.36
40	tub1090	435.50	63	tub1082	122.90	63	tub1049	2494.47
40	tub1091	817.16	63	tub1086	173.15	63	tub1141	3654.51
50	tub1047	5.67	63	tub1024	128.47	63	P-9	0.65
50	tub1045	34.59	63	tub1096	129.43	63	P-10	113.85
50	tub1142	1170.83	63	tub1081	133.84	63	P-11	0.65
50	tub1159	2196.09	63	tub1138	138.22	63	P-12	43.43
63	tub1112	0.65	63	tub1030	151.21	63	P-13	0.81
63	tub1070	0.81	63	tub1006	145.90	63	P-14	58.18
63	tub1097	1.92	63	tub1084	149.81	63	P-15	54.57
63	tub1088	2.54	63	tub1145	148.86	63	P-16	0.81
63	tub1152	3.60	63	tub1120	148.54	63	P-17	0.93
63	tub1053	4.00	63	tub1041	196.34	63	P-18	73.78
63	tub1153	3.94	63	tub1031	159.38	63	P-19	0.93
63	tub1044	6.25	63	tub1048	176.49	63	P-20	7.63
63	tub1156	7.88	63	tub1005	171.93	110	tub1101	0.93
63	tub1079	27.26	63	tub1038	175.67	110	tub1052	1.75
63	tub1033	32.09	63	tub1151	177.96	110	tub1102	36.45
63	tub1043	32.44	63	tub1057	181.42	110	tub1108	112.67
63	tub1068	33.48	63	tub1125	252.29	110	tub1106	123.55
63	tub1063	37.96	63	tub1160	258.85	110	tub1100	144.23
63	tub1132	42.00	63	tub1129	196.10	110	tub1021	433.20
63	tub1150	43.49	63	tub1098	190.23	110	tub1126	443.40



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

63	tub1042	44.98	63	tub1008	199.66	110	tub1019	453.62
63	tub1133	45.00	63	tub1016	200.29	110	tub1109	589.51
63	tub1076	45.38	63	tub1001	221.97	110	tub1103	701.58
63	tub1054	46.12	63	tub1026	283.36	110	tub1127	669.98
63	tub1135	49.28	63	tub1029	291.00	110	tub1105	1244.20
63	tub1136	50.21	63	tub1059	282.99	110	tub1099	1538.62
63	tub1134	52.00	63	tub1003	260.61	110	P-1	251.72
63	tub1071	53.30	63	tub1072	262.45	110	P-2	1637.90
63	tub1085	56.94	63	tub1058	278.02	110	P-3	941.60
63	tub1014	55.65	63	tub1010	283.11	110	P-4	12.69
63	tub1110	55.95	63	tub1119	296.07	110	P-8	1338.43
63	tub1149	75.66	63	tub1013	319.87	110	P-21	87.40
63	tub1111	59.31	63	tub1051	341.85	110	P-22	933.32
63	tub1121	59.31	63	tub1002	388.23	160	tub1154	6.25
63	tub1004	62.25	63	tub1011	391.14	160	tub1092	1082.84
63	tub1040	129.35	63	tub1117	412.30	160	P-6	177.84
63	tub1067	74.22	63	tub1118	418.79	160	P-23	620.98
63	tub1146	77.17	63	tub1113	488.73	160	P-24	574.50
<b>LONGITUD TOTAL DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE JESÚS DEL GRAN PODER=</b>							<b>61,866.24</b>	<b>M</b>
							<b>61.87</b>	<b>Km</b>

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 4.7:** TABLA DE LONGITUDES DE LA TUBERÍA

Con la tabla 4.7 determinamos la longitud total que tiene la red de abastecimiento de agua potable de Jesús del Gran Poder y es de 61.87.

#### 4.2.3. Determinación de áreas de cobertura potenciales

Con la evaluación del sistema se puede tener una idea clara de que la red puede seguir creciendo y proporcionar el servicio a más comunidades como:

- **La Tranca** es una comunidad que se encuentra al noroeste de La Suya en tierras un poco más bajas. La red de agua no tendría ningún problema en abastecer a este poblado ya que las presiones que están llegando a esos nudos son de alrededor de 60 mca.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- **Cooperativa América** se encuentra al noroeste del pueblo de Luz de América con el cual comparte el mismo nivel o altitud por lo que una extensión de red no sería un gran problema.
- **San Rafael** es una comunidad que se encuentra en dirección de la red que comunica a Putucay con La Compuerta. La única problemática que se tiene en este sector es que los diámetros de las tuberías son pequeñas y ya se han comenzado a presentar inconvenientes en lo que se refiere a pérdidas grandes de carga.
- **La Teresa Alto** esta población ya cuenta con una parte de la comunidad que está siendo servida por la red de agua existente podría extenderse la red a los sectores faltantes. Esta comunidad se encuentra al sur de La Teresa en dirección hacia la planta de tratamiento.

#### 4.2.4. Catastro de redes y usuarios

Para configurar un catastro de redes y usuarios completo se debe asegurar que todos los componentes de la red estén representados en el dibujo final, de la misma forma se debe contar con todos los usuarios que se encuentran conectados al sistema de agua sin excepción, para obtener esta información se debe hacer un trabajo de campo que consiste en tomar la información de la red de abastecimiento desde la planta de tratamiento hasta cada ramal que posea la red.

El proceso de catastro de redes comienza muchas de las veces desde las captaciones levantando la información de la conducción y de la distribución. Para este proceso se coordinó con la empresa ETAPA EP. El catastro completo del sistema nos tomó aproximadamente dos meses ya que estamos hablando de más de 61 km de redes distribuidas en 8 comunidades. Para el caso de las redes se debe georeferenciar el trayecto que van siguiendo las tuberías conforme se avanza el levantamiento, para verificar si se está siguiendo la ruta correcta se debe cavar y revisar dónde está la red y que dirección está siguiendo. Lo mismo ocurre para todos los accesorios del sistema, ya que deben ser georeferenciados por medio de un GPS con el objetivo de construir un catastro que refleje con exactitud lo que se tiene en campo.

Una vez terminado el catastro y dibujado en CivilCad es necesario asignar diferentes propiedades a cada uno de ellos, a lo largo de este capítulo se ha visto las características de componentes como: tuberías, reductores de sección y áreas



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

de servicio. Ahora es momento de configurar los tapones, los tanques rompe presiones, las válvulas reductoras de presión y las válvulas de control.

Los **tapones** deben ser exportados a un archivo shape desde AutoCAD, luego es necesario modificar la tabla de atributos para que cuente con las características elementales de los tapones.

FID	Shape *	admapkey
0	Point	tap_cod_1001
1	Point	tap_cod_1002
2	Point	tap_cod_1003
3	Point	tap_cod_1004
4	Point	tap_cod_1005
5	Point	tap_cod_1006
6	Point	tap_cod_1007
7	Point	tap_cod_1008
8	Point	tap_cod_1009
9	Point	tap_cod_1010
10	Point	tap_cod_1011
11	Point	tap_cod_1012
12	Point	tap_cod_1013
13	Point	tap_cod_1014
14	Point	tap_cod_1015
15	Point	tap_cod_1016
16	Point	tap_cod_1017
17	Point	tap_cod_1018
18	Point	tap_cod_1019
19	Point	tap_cod_1020
20	Point	tap_cod_1021
21	Point	tap_cod_1022

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.31:** TABLA DE ATRIBUTOS DE TAPONES

Los **tanques rompe presiones y válvulas reductoras de presión** de igual manera sólo necesitan contar con un campo identificador que las diferencie, ambos accesorios van a ser unidos dentro de un mismo shape file porque el programa no reconoce tanques rompe presiones, por esta razón al momento de



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

cargarle al modelo de WaterGems se identifica los que son tanques y los que son válvulas para configurarlos de acuerdo a su función. La tabla de atributos es la siguiente:

FID	Shape *	Admapkey
0	Point	trp1001
1	Point	trp1002
2	Point	trp1003
3	Point	trp1004
4	Point	trp1006
5	Point	trp1007

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.32:** TABLA DE ATRIBUTOS DE TANQUES ROMPE PRESIONES Y VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN

En esta tabla la única válvula reductora de presiones es la correspondiente al admapkey de “trp1007” y el resto son tanques.

Las **válvulas de control** también deben estar dentro de un archivo shape aparte con un identificador distinto, tal como se presenta en la siguiente tabla:

FID	Shape *	ADMAPKEY
0	Point	val1001
1	Point	val1002
2	Point	val1003
3	Point	val1004
4	Point	val1005
5	Point	val1006
6	Point	val1007
7	Point	val1008
8	Point	val1009
9	Point	val1010
10	Point	val1011
11	Point	val1012
12	Point	val1013
13	Point	val1014
14	Point	val1015
15	Point	val1016
16	Point	val1017
17	Point	val1018
18	Point	val1019
19	Point	val1020

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.33:** TABLA DE ATRIBUTOS DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Con esta tabla se termina la configuración de todos los elementos que forman parte de la red de abastecimiento de agua potable de Jesús del Gran Poder correspondiente a la asignación de propiedades con el software ArcMap. Ahora el modelo hidráulico puede ser cargado en su totalidad en WaterGems para poder ser evaluado con los criterios anteriormente propuestos y además con la proyección a generar varios escenarios de cálculo diferentes.

Con el catastro de redes terminado se debe completar el catastro de los usuarios o domiciliarias del proyecto, esta información es necesaria al momento de calcular las dotaciones del sistema de manera que los cálculos sean precisos.

Para el catastro de usuarios simplemente se debe registrar la ubicación de las domiciliarias que se encuentran conectadas al sistema y con un GPS georeferenciarlas para luego al momento de digitalizar esa información en un software se consolide correctamente con el catastro de redes.

Al tener configurado de esta manera los diferentes *shape files* continuamos con el layer de usuarios, que debe ser exportado desde los elementos POINT de los catastros ya no desde POLYLINE como se hizo con las tuberías, aunque seguiremos utilizando la selección por atributos con el campo "Layer". La forma de exportar y generar el nuevo layer para usuarios es el mismo que para los accesorios de válvulas reductoras de presión, tanques rompe presión, válvulas de control y tapones. La tabla de atributos debe contener la siguiente información:

FID	Shape *	dotación	Categoria
0	Point ZM	0.0214	R
1	Point ZM	0.0214	R
2	Point ZM	0.0214	R
3	Point ZM	0.0214	R
4	Point ZM	0.0214	R
5	Point ZM	0.0214	R
6	Point ZM	0.0214	R
7	Point ZM	0.0214	R
8	Point ZM	0.0214	R
9	Point ZM	0.0214	R
10	Point ZM	0.0214	R
11	Point ZM	0.0214	R
12	Point ZM	0.0214	R
13	Point ZM	0.0214	R
14	Point ZM	0.0214	R
15	Point ZM	0.0214	R
16	Point ZM	0.0214	R
17	Point ZM	0.0214	R
18	Point ZM	0.0214	R
19	Point ZM	0.0214	R
20	Point ZM	0.0214	R
21	Point ZM	0.0214	R
22	Point ZM	0.0214	R
23	Point ZM	0.0214	R
24	Point ZM	0.0214	R

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.34:** TABLA DE ATRIBUTOS DE LOS USUARIOS

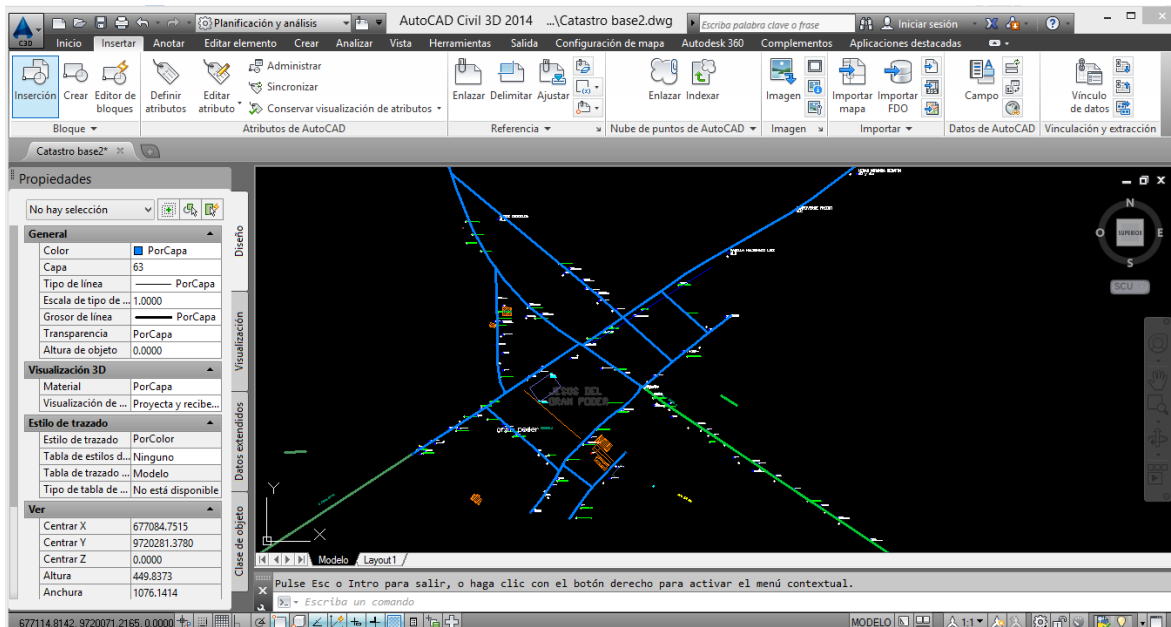




UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

En esta tabla de atributos se destacan los campos de dotación y categoría, el campo de dotación contiene el valor calculado anteriormente para cada usuario en lt/s. En lo que corresponde al campo de categoría se debe llenar dependiendo del tipo de usuario como: residencial (R), industrial (I), comercial (C). En el sistema sólo contamos con usuarios del tipo R y un total de 677 como podemos observar en la esquina inferior izquierda de la tabla.

A cada domiciliaria se le representó con un punto y con el respectivo nombre al lado, en la mayoría de los casos existe un nombre atribuido a cada domiciliaria, pero hubo algunas extensiones de red con nuevos usuarios de último momento a los cuales no se les pudo registrar los nombres.



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.35:** CATASTRO DE REDES Y USUARIOS ZONA JESÚS DE GRAN PODER

Es necesario también que todos los puntos representados como usuarios o domiciliarias estén dentro de una misma capa que los caracterice desde el programa CivilCad.

El catastro completo de redes y usuarios se muestra en el anexo 1.



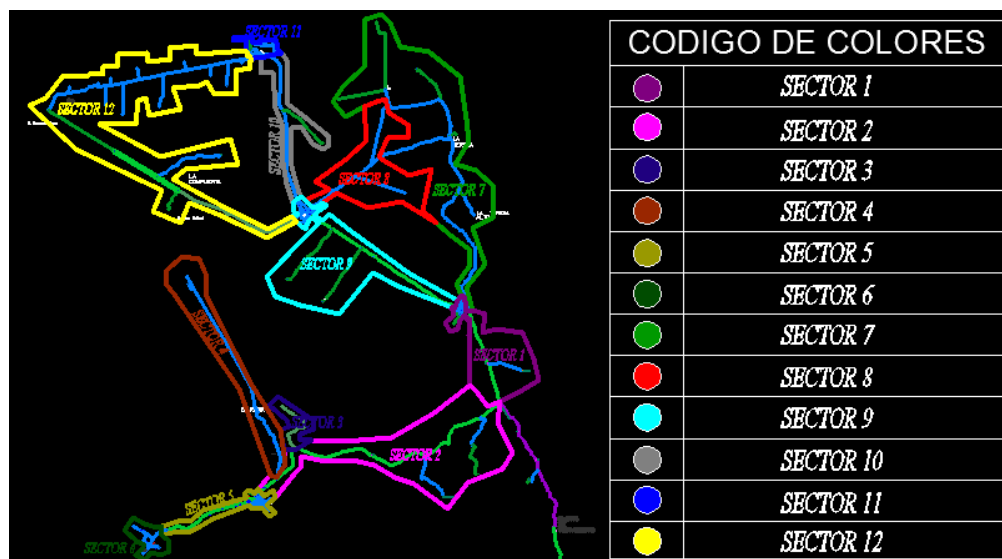
### 4.3. Construcción del modelo hidráulico

La construcción del modelo hidráulico involucra la integración de toda la información generada y analizada en las secciones de *parámetros de diseño* y en la *asignación de propiedades utilizando herramientas GIS* (Topología). Además se desarrollará una sectorización y un chequeo de conectividad de la red con el objetivo de estudiar con mayor profundidad el sistema.

En afán de facilitar y desarrollar el estudio de sistemas de abastecimiento de agua potable en la últimas dos décadas se han desarrollado programas muy completos para este tipo de problemas, en este caso Bentley que es una compañía de las más grandes del mundo en lo que se refiere a desarrollo de software relacionado a las diversas ingenierías y carreras técnicas sacó al mercado WaterGems que nos facilita un cálculo rápido y confiable de todo el sistema. WaterGems no sólo brinda la facilidad de examinar un sistema con todas sus variables, sino que nos permite cargar toda la información necesaria o requerida para analizar una red de un sin número de formas.

#### 4.3.1. Sectorización

La sectorización de la red de abastecimiento de agua potable de Jesús de Gran Poder se dividió en 12 sectores diferentes tomando en cuenta la ubicación y la dirección de sus diferentes válvulas de control.



Elaborado por: AUTOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**Imagen 4.36:** SECTORIZACIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE JESÚS DEL GRAN PODER

Para reconocer que válvula está a cargo de cada sector se puede apreciar en la siguiente tabla:

Sector	Identificador
SECTOR1	Val1016
SECTOR2	Val1015
SECTOR3	Val1014
SECTOR4	Val1012
SECTOR5	Val1011
SECTOR6	Val1006
SECTOR7	Val1017
SECTOR8	Val1024
SECTOR9	Val1019
SECTOR10	Val1001
SECTOR11	Val1025
SECTOR12	Val1026

**Elaborado por:** AUTOR


**Tabla 4.8:** TABLA DE VÁLVULAS DE CONTROL A CARGO DE CADA SECTOR

Cuando se hace el mantenimiento de una red de distribución es necesario cerrar la válvula de control que corresponda al sector en el que se va a intervenir, consecuente las presiones, velocidades y pérdidas de carga, se van a modificar y es por eso que después de simular el funcionamiento el programa con su configuración estándar se debe realizar más simulaciones del funcionamiento del programa para verificar el comportamiento del sistema ante cualquiera de esos 12 posibles escenarios y analizar las implicaciones que significa cerrar un determinado sector. Es muy importante realizar estas pruebas al sistema porque puede suceder que una tubería o un nudo se comporten normalmente con el sistema en modo estándar, pero si lo alteramos al cerrar un sector pueden pasar a tener pérdidas de carga o presiones muy grandes que sobrepasen el rango establecido para estos parámetros en los criterios del sistema.

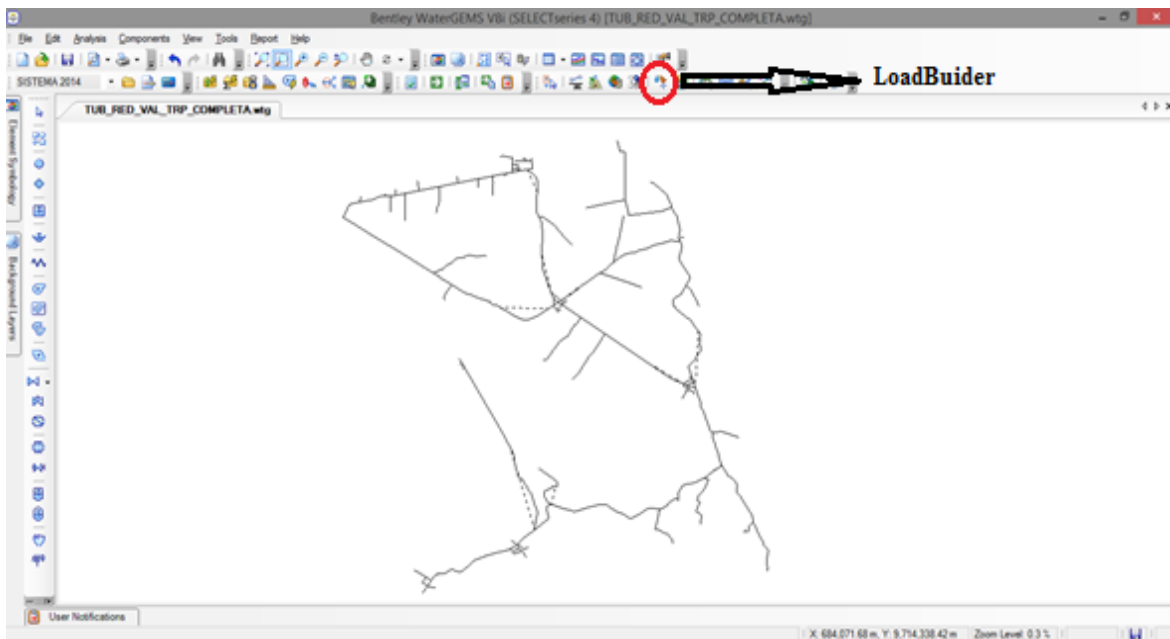
#### **4.3.2. Implementación y procesamiento de los parámetros de diseño al modelo**



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

En esta etapa se comienza con el ingreso de toda la información y datos que se obtuvieron para este sistema en el capítulo de parámetros de diseño y en la sección de asignación de propiedades utilizando herramientas GIS. Para comenzar con la modelación se debe haber cargado todos los elementos del sistema como tuberías, válvulas, accesorios, etc., con la herramienta *ModelBuilder* del programa WaterGems estos elementos se cargan directamente siempre y cuando se hayan dejado los archivos shape tal como lo especificamos en este documento, sin embargo en la sección 4.3.3 se dará una explicación del proceso. Luego se debe cargar las dotaciones, las áreas de servicio y los usuarios, con la finalidad de asignar las respectivas demandas a los nudos del sistema. WaterGems nos brinda la oportunidad de cargar toda esta información utilizando la herramienta *LoadBuilder*  en un mismo proceso didáctico y con pocos clicks. Esta herramienta nos permite cargar esta información de varias maneras dependiendo básicamente de la información con la que se cuente y como el modelador prefiere manipular sus datos. En la explicación del manejo de la herramienta *LoadBuilder* se presentará un solo procedimiento de cómo se decidió cargar las dotaciones.

Primero le damos click en el icono de la herramienta *LoadBuilder*.




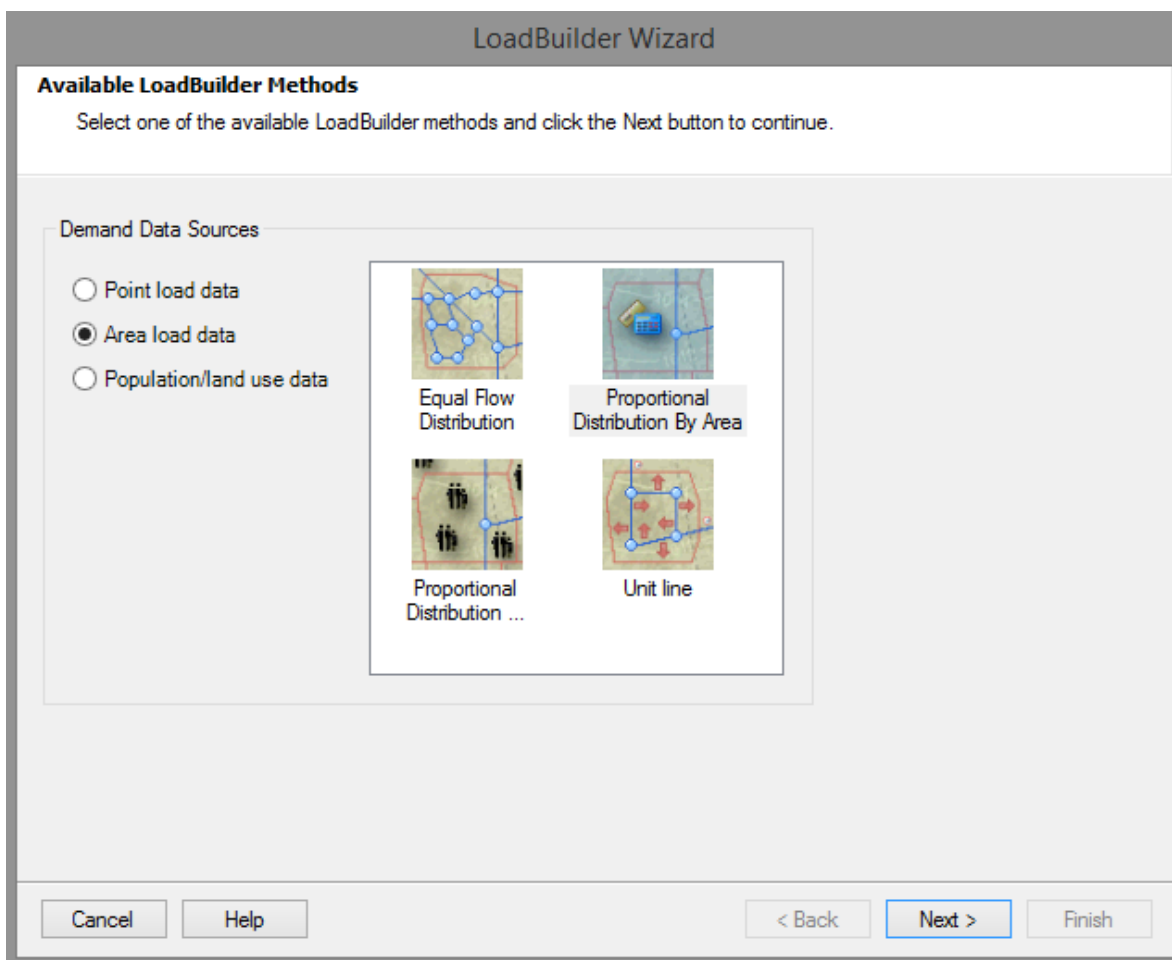
**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.37:** INTERFAZ WATERGEMS



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Luego nos aparece una ventana en blanco y le damos click en el icono New  y nos aparece la siguiente ventana:



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.38:** MÉTODOS DISPONIBLES DEL LOADBUILDER

En esta ventana señalamos el título que dice “*Area load data*” y dentro de este nos aparecen cuatro maneras de cargar las demandas de acuerdo al tipo de información con la que contemos, para este caso seleccionamos la que dice “*Proportional Distribución By Area*” y le damos un click en “*next*” para que nos aparezca la siguiente ventana:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

LoadBuilder Wizard

**Proportional Distribution by Area**

Enter in data for all fields below and click Next to continue.

Model Node Service Area

Service Area Layer: BORRAR\ARCGIS\A\_aporte.shp ...

Node ID Field: <none>

GIS Flow Raw Data

Flow Boundary Layer: C:\Users\usuario\Desktop\TESIS ...

Boundary Field: <none>

Flow Field: <none> L/s

Cancel Help < Back Next > Finish

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.39:** VENTANA DE DISTRIBUCIÓN PROPORCIONAL POR ÁREA

Para llenar todos los campos que se requieren en esta ventana se necesita un archivo shape configurado de tal manera que muestre la sumatoria de las dotaciones atribuidas a cada usuario pertenecientes a una misma área de servicio, esto quiere decir que como tenemos una dotación de 0.0214 lt/s por usuario y si por ejemplo en un área de servicio tenemos 5 usuarios la dotación perteneciente al nudo del área en cuestión sería 0.107 lt/s.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

FID	Shape *	ID	Aream2	Dotacion_Total	Categoria
0	Polygon ZM	235	449550.536531	0	R
1	Polygon ZM	136	287075.281164	0.0214	R
2	Polygon ZM	66	596558.797225	0.0428	R
3	Polygon ZM	281	558563.176982	0.0642	R
4	Polygon ZM	282	486741.450668	0.0214	R
5	Polygon ZM	272	810768.213726	0.1284	R
6	Polygon ZM	271	252180.470115	0.107	R
7	Polygon ZM	290	479503.971869	0.0214	R
8	Polygon ZM	304	433287.680988	0.0642	R
9	Polygon ZM	115	5944.321344	0.0856	R
10	Polygon ZM	211	41412.019494	0.0214	R
11	Polygon ZM	177	5222.636111	0.107	R
12	Polygon ZM	206	9114.932188	0.2568	R
13	Polygon ZM	138	5848.007632	0.1712	R
14	Polygon ZM	139	8130.864633	0.0428	R
15	Polygon ZM	54	425556.874532	0.4708	R
16	Polygon ZM	316	648340.143097	0.1284	R
17	Polygon ZM	48	281937.951116	0.4066	R
18	Polygon ZM	320	710871.190057	0.0428	R
19	Polygon ZM	297	243740.981446	0.0642	R
20	Polygon ZM	251	518082.272886	0.1284	R
21	Polygon ZM	82	15552.162408	0.0428	R
22	Polygon ZM	113	72742.87865	0.0856	R
23	Polygon ZM	81	5092.411601	0.0642	R
24	Polygon ZM	105	4423.025494	0.0642	R
25	Polygon ZM	35	14596.126635	0.2568	R
26	Polygon ZM	36	5932.296547	0.1712	R

*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.40.** TABLA DE ATRIBUTOS DE DOTACIÓN EN ÁREAS DE SERVICIO

La imagen 4.40 nos muestra el formato que debe tener la tabla de atributos final de las áreas para poder utilizar el método de la distribución proporcional por área.

Ahora sólo necesitamos llenar los diferentes campos requeridos por el método, el procedimiento es el siguiente:

- Primero se debe llenar el campo de la sección **Model Node Serve Area**, que dice “Service Area Layer” que nos pide el archivo shape de las áreas de servicio que modificamos.





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- Debajo de este campo se encuentra otro que nos dice “*Node ID Field*” el cual nos pregunta cuál es la columna dentro de la tabla de atributos del archivo shape que contiene los identificadores (ID) de los nudos y en este caso es la columna con el nombre de ID.
- Luego en la sección de ***GIS Flow Raw Data*** tenemos el primer campo que dice “*Flow Boundary Layer*” que nos pide buscar la ubicación del archivo shape que contiene los caudales de las áreas previamente cargadas, el archivo que necesitamos buscar es el mismo de las áreas de servicio que cargamos primero.
- Después de cargado el archivo, la ventana pregunta cuál es el “*Boundary Field*” de los caudales, o sea cual es la columna de la tabla de atributos que contiene el tipo de categoría de los usuarios. Para la tabla de atributos que se ha desarrollado la columna llamada “*Categoría*” es la que nos servirá para este paso.
- Por último tenemos el campo de “*Flow Field*” que nos pide de igual manera especificar cuál es la columna que contiene las dotaciones totales para cada nudo y cómo podemos ver en la tabla generada desde ArcMap es la columna correspondiente a “*Dotación\_Total*”. Luego simplemente seleccionamos las unidades en las que se encuentran las demandas.

Luego de llenar todos estos campos le damos un click en “*next*” y nos aparece la siguiente ventana:

Load Type	Consumption (L/s)	Multiplier	Pattern
Default	14.49	1.000	Fixed

Global Multiplier: 1.000  
Total Load: 14.49 L/s

Cancel Help < Back Next > Finish

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.41:** VENTANA DEL SUMARIO DE CÁLCULOS



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Aquí nos aparece la demanda total que ha sido cargada al sistema y para continuar le damos un click en “next” y nos presenta una ventana que muestra las diferentes dotaciones cargadas a los nudos.

LoadBuilder Wizard

**Results Preview**  
List of calculation loads for each node.

Node Id	Demand (L/s)	Load Type	Pattern
136: tub3074	0.02	Default	Fixed
66: tub3154	0.04	Default	Fixed
281: tub2028	0.06	Default	Fixed
282: tub3028	0.02	Default	Fixed
272: tub3018	0.13	Default	Fixed
271: tub2018	0.11	Default	Fixed
290: tub3039	0.02	Default	Fixed
304: tub3095	0.06	Default	Fixed
115: tub3046	0.09	Default	Fixed
211: tub3155	0.02	Default	Fixed
177: tub3107	0.11	Default	Fixed
206: tub3041	0.26	Default	Fixed
138: tub2040	0.17	Default	Fixed
139: tub3040	0.04	Default	Fixed
54: tub3153	0.47	Default	Fixed
316: tub2094	0.13	Default	Fixed
48: tub3152	0.41	Default	Fixed
320: tub2093	0.04	Default	Fixed
297: tub3130	0.06	Default	Fixed
251: tub3051	0.13	Default	Fixed

Cancel Help < Back Next > Finish

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.42:** VENTANA DE VISTA PRELIMINAR DE RESULTADOS

Aquí podemos verificar si los valores son los mismos que tenemos en el archivo shape, pero se puede asumir que están correctos ya que el caudal cargado es exactamente al que ya se había calculado. Luego le damos un click en “next” y le damos un nombre al campo que va a albergar toda esta información, por ejemplo lo podemos llamar “QMH”.

LoadBuilder Wizard

**Completing the LoadBuild Process**  
Click Finish to start the LoadBuild exporting process.

Label: QMH

Choose the procedure to follow when exporting this run's Load calculations

☒ Override an Existing Alternative 6: Base Demand

☐ Append to an Existing Alternative 6: Base Demand

☐ New Alternative

Parent Alternative: <none>

Cancel Help < Back Next > Finish

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.43:** VENTANA DE TERMINACIÓN DEL PROCESO DE LOADBUILDER

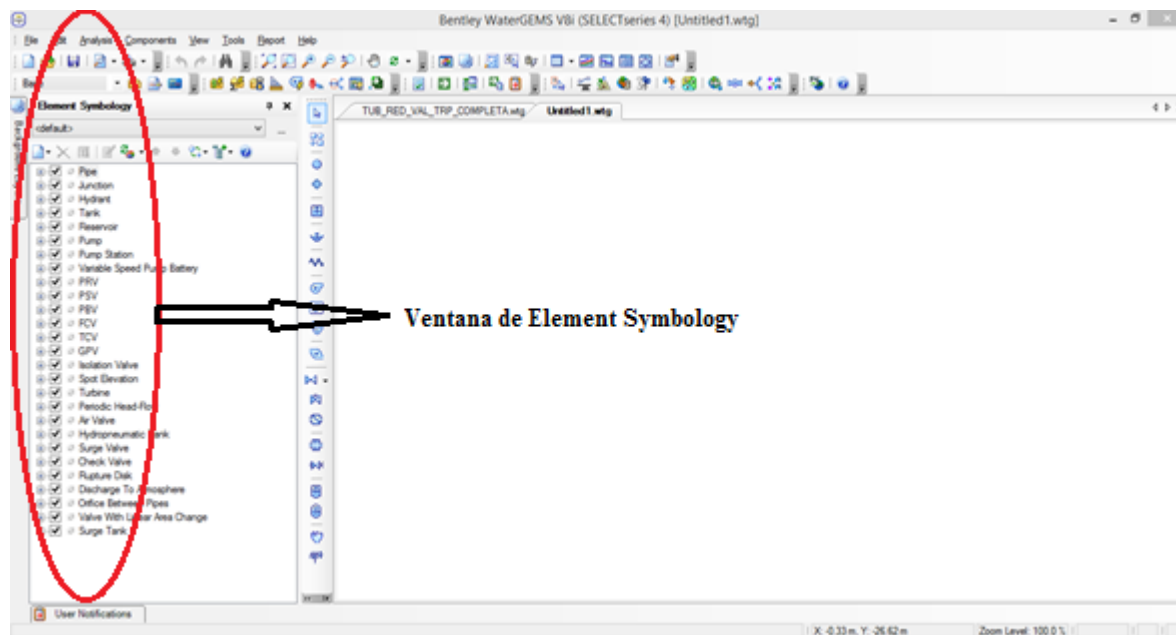


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Le damos un click en “*Finish*” y así ya hemos cargado las demandas a los diferentes nudos del sistema.

Con este proceso completado prácticamente tenemos todos los parámetros de diseño cargados al modelo, lo único que hace falta es establecer en el programa los criterios para la evaluación del sistema. Para este proceso seguiremos los siguientes pasos:

Primero nos dirigimos a la pestaña de ***Element Symbology*** que por lo regular se encuentra en la cara lateral izquierda de la interfaz de WaterGems y le damos un click, con lo cual se desplegará una ventana como se ve a continuación:





***Elaborado por:*** AUTOR  
***Imagen 4.44:*** VENTANA DE ELEMENT SYMBOLOGY

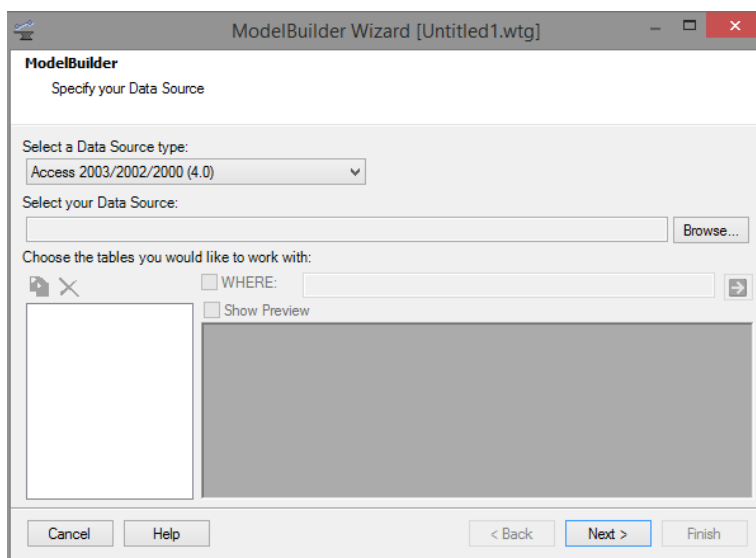
Aquí podemos configurar cualquier accesorio que se encuentre cargado en el sistema. Para la evaluación de la red de abastecimiento lo principal que queremos visualizar es la pérdida de carga en las tuberías y la presión en los nudos, para lo cual nos dirigimos por ejemplo a las tuberías (Pipes) y le damos un click derecho y seleccionamos New/Color Coding y nos aparecerá una ventana que nos permitirá establecer los rangos de las pérdidas de carga establecidos y deberá contener toda la información tal como se muestra en la ventana presentada en la sección de criterios de evaluación en el capítulo de parámetros de diseño donde se explicó las pérdidas de carga en las tuberías. Igualmente este proceso se lo seguirá para las presiones en los nudos.



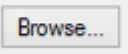
#### 4.3.3. Asignación de las unidades hidráulicas del sistema

El proceso de asignación de las diferentes unidades hidráulicas al sistema es muy simple y lo explicaremos a continuación:

Primero le damos un click al icono del *ModelBuilder* , nos aparecerá una ventana en blanco, en esta ventana buscamos el icono New  y le damos un click para que nos despliegue la siguiente ventana:



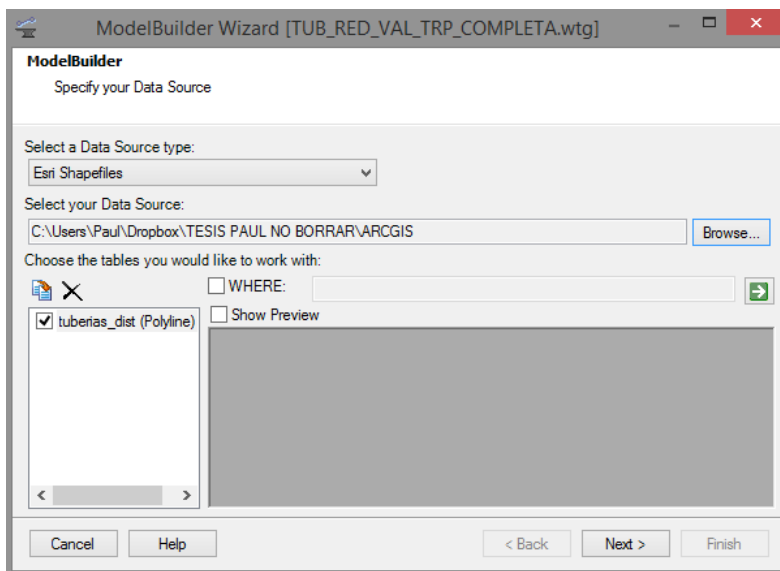
**Elaborado por:** AUTOR  
**Imagen 4.45:** VENTANA DEL MODEL BUILDER

En esta ventana es necesario escoger el origen de la base de datos (Select a Data Source type) y en este caso es del tipo Esri shapefile luego aplastamos en  y buscamos el archivo correspondiente a las tuberías. Primero vamos a cargar las tuberías así que buscamos esa base de datos primero.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

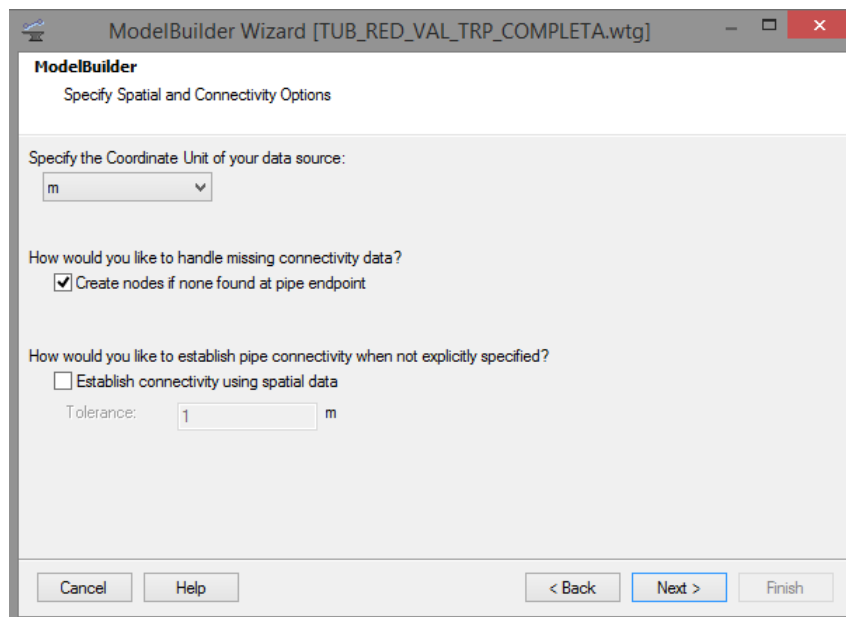
La ventana quedaría de la siguiente forma:



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.46:** VENTANA DEL MODELBuilder LLENADA

Con estos datos completos le hacemos click en “*next*” y nos muestra la siguiente ventana:



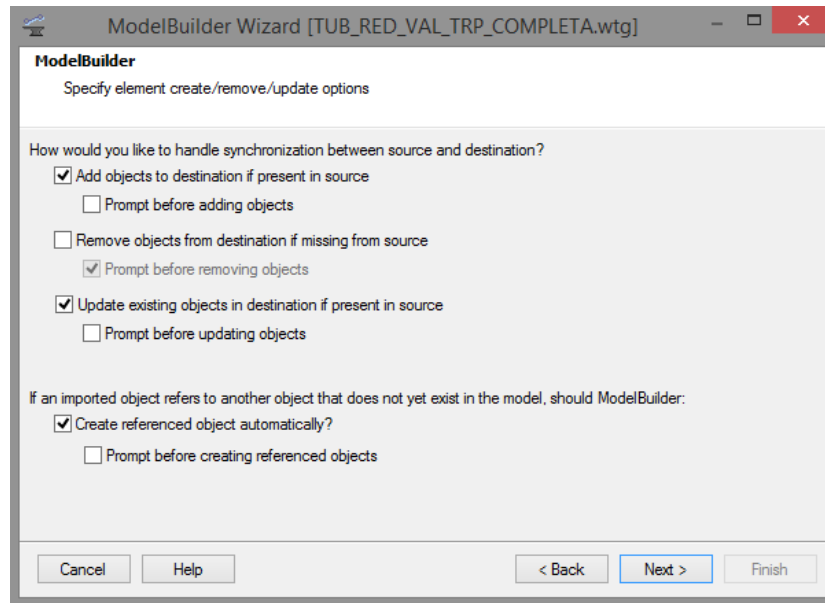
**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.47:** VENTANA DE OPCIONES DE ESPECIFICACIÓN ESPACIAL Y CONECTIVIDAD



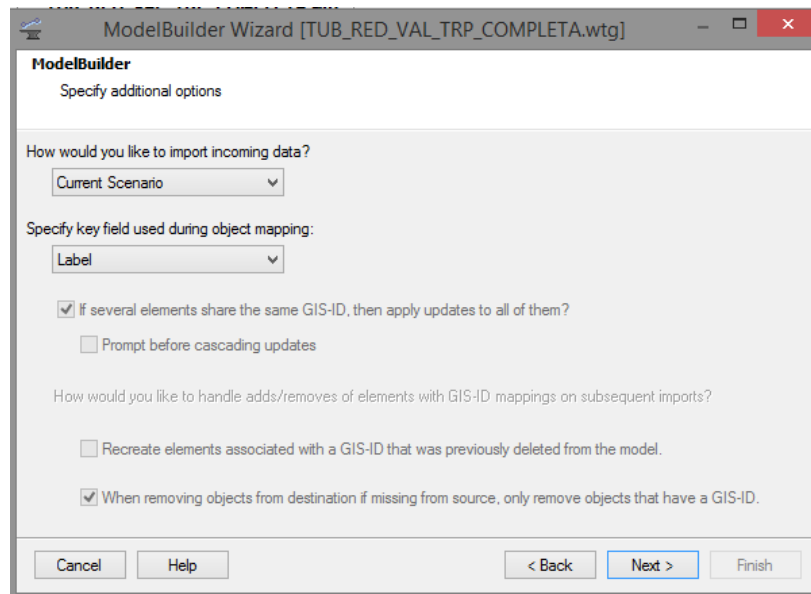
UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

En esta ventana lo más importante es verificar que las unidades se encuentren en metros, luego le damos un click en “*next*” y nos aparece la siguiente pantalla:



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.48:** VENTANA DE ESPECIFICACIÓN DE LAS OPCIONES DE CADA ELEMENTO  
Confirmamos tener marcados los enunciados que se ven en la ventana y simplemente le damos “*next*”.



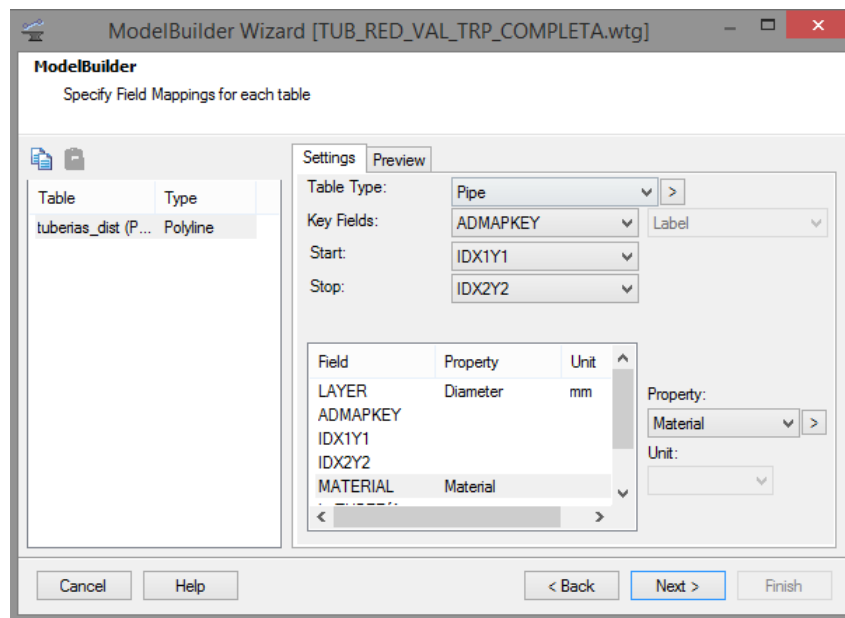
**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.49:** VENTANA DE ESPECIFICACIÓN DE OPCIONES ADICIONALES



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

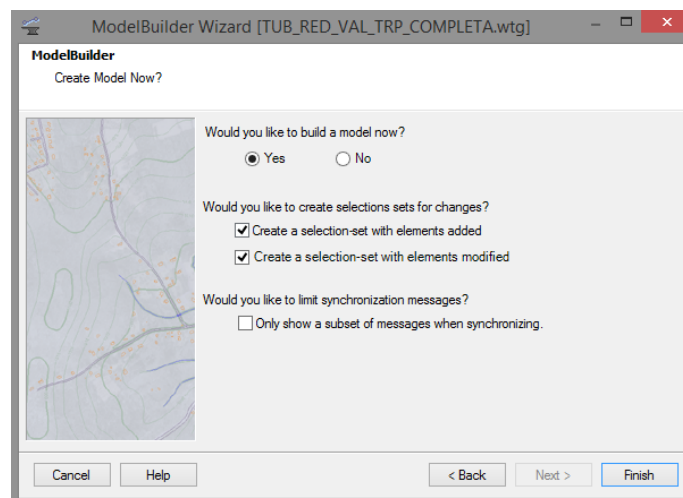
Aquí no necesitamos cambiar nada y le damos un click en “next”.



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.50:** VENTANA DE ESPECIFICACIÓN DE LOS CAMPOS DE MAPEO PARA CADA TABLA DE ATRIBUTOS

Como ya teníamos configurada la tabla de atributos de las tuberías sólo vamos llenando los diferentes campos tal como muestra la ventana y le damos “next”.




**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.51:** VENTANA PARA LA CREACIÓN DE UN MODELO

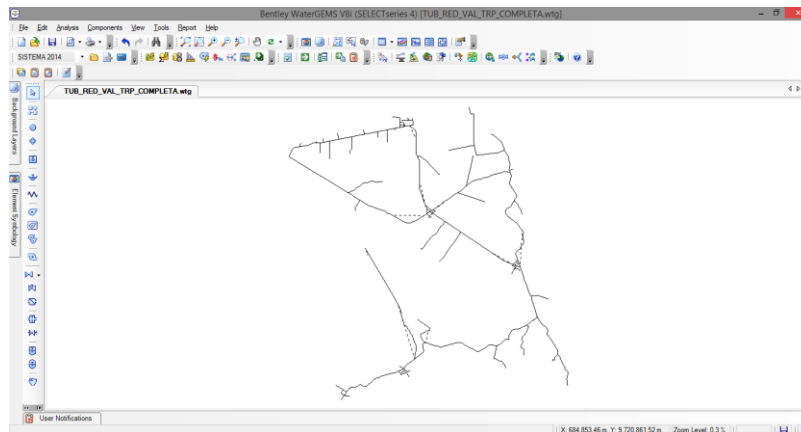




UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

En esta ventana lo único que debemos hacer es señalar que SI  a la pregunta de si queremos construir un modelo ahora. Luego hacemos un click en “Finish” y ya hemos creado un modelo con las tuberías.


Este mismo proceso se debe realizar para el resto de accesorios que tenemos en el sistema que son: reductores de sección, válvulas de control y válvulas reductoras de presión (incluido los tanques rompe presión), y así la modulación del sistema estará completa y deberá verse de la siguiente manera:



**Elaborado por:** AUTOR

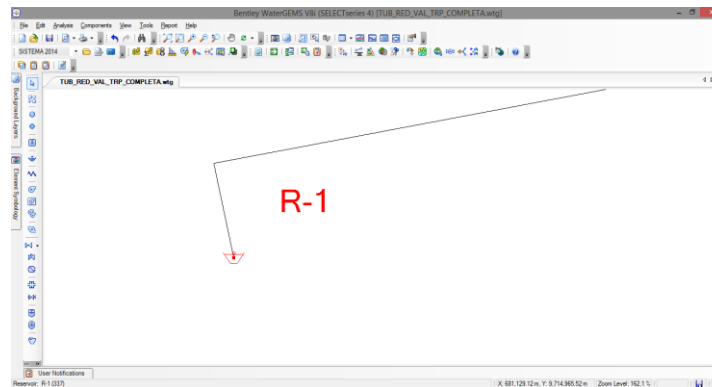
**Imagen 4.52:** MODELACIÓN DE LAS UNIDADES HIDRÁULICAS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE JESÚS DEL GRAN PODER

#### 4.3.4. Modulación del sistema con el software WaterGems

Para continuar con la modelación de sistema de agua es necesario darle una fuente de la cual la red de agua se pueda abastecer para cumplir con todas las demandas que se presentan. Como está establecido en la evaluación del sistema sólo se realizará un análisis estático del comportamiento de la red de distribución, por lo que no incorporaremos el tanque de reserva que tiene la planta de tratamiento sino sólo colocaremos como fuente un reservorio  que tiene la función de abastecer una ilimitada cantidad de agua al sistema durante cualquier periodo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.53:** ASIGNACIÓN DE UN RESERVOIRIO A LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Ya con el reservorio abasteciendo de agua al sistema los únicos pasos restantes que nos queda por hacer son: revisión de unidades, cambio de diámetros externos por diámetros internos y la verificación de los diámetros de válvulas reductoras, tanques rompe presión y válvulas de control. Después de realizar estos chequeos las tablas deben tener las siguientes características:

Identificador	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Material	Coefficiente Hazen-Williams	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de Carga (m/km)	Has User Defined Length?	Start
131: tub1004	62.25	58.2	PVC	120.0	0.00	0.00	0.000	<input type="checkbox"/>	tub2004
172: tub1062	142.02	58.2	PVC	120.0	0.00	0.00	0.000	<input type="checkbox"/>	tub2063
178: tub1012	119.62	58.2	PVC	120.0	0.00	0.00	0.000	<input type="checkbox"/>	tub2116
192: tub1030	151.21	58.2	PVC	120.0	0.00	0.00	0.000	<input type="checkbox"/>	tub2036
291: tub1022	879.44	58.2	PVC	120.0	0.00	0.00	0.000	<input type="checkbox"/>	tub2022
163: tub1087	105.48	58.2	PVC	120.0	-0.02	0.01	0.003	<input type="checkbox"/>	tub2085
225: tub1098	190.23	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2097
227: tub1008	199.66	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2008
150: tub1147	109.92	58.2	PVC	120.0	-0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2147
198: tub1006	145.90	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2006
280: tub1028	587.08	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2028
232: tub1001	221.97	58.2	PVC	120.0	-0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2001
212: tub1005	171.93	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2005
167: tub1015	110.52	58.2	PVC	120.0	-0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2015
143: tub1146	77.17	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2146
248: tub1013	319.87	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2116
268: tub1023	592.34	58.2	PVC	120.0	-0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	red1009
122: tub1110	55.95	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2075
102: tub1076	45.38	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2075
125: tub1149	75.66	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2150
119: tub1014	55.65	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2014
234: tub1026	283.36	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2026
40: tub1088	2.54	58.2	PVC	120.0	0.03	0.01	0.005	<input type="checkbox"/>	tub2088
258: tub1117	412.30	58.2	PVC	120.0	0.04	0.01	0.010	<input type="checkbox"/>	tub2008
116: tub1085	56.94	58.2	PVC	120.0	-0.04	0.01	0.011	<input type="checkbox"/>	tub2085
236: tub1029	291.00	58.2	PVC	120.0	-0.04	0.02	0.012	<input type="checkbox"/>	tub2037

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.54.** TABLA FLEXIBLE DE LAS TUBERÍAS

La visualización de esta ventana es solamente para que se aprecie como debe estar configurada la tabla flexible de WaterGems para las tuberías. Los reportes con la información total de las tuberías se encuentran en el Anexo 3. A continuación se presenta la configuración del resto de tablas flexibles de los elementos faltantes:



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

FlexTable: Junction Table (Current Time: 0.000 hours) (TUB\_RED\_VAL\_TRP\_COMPLETA.wtg)

	ID	Label	Elevation (m)	Zone	Demand Collection	Demand (L/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)
302: tub3139	302	tub3139	100.18	<None>	<Collected>	0.09	107.04	6.8
274: tub3060	274	tub3060	306.66	<None>	<Collected>	0.02	313.66	7.0
304: tub3095	304	tub3095	115.61	<None>	<Collected>	0.06	125.12	9.5
316: tub2094	316	tub2094	117.56	<None>	<Collected>	0.13	129.46	11.9
54: tub3153	54	tub3153	112.50	<None>	<Collected>	0.47	131.45	18.9
351: red1013	351	red1013	112.44	<None>	<Collected>	0.00	131.45	19.0
347: red1009	347	red1009	290.42	<None>	<Collected>	0.00	313.69	23.2
320: tub2093	320	tub2093	100.00	<None>	<Collected>	0.04	128.09	28.0
310: tub3065	310	tub3065	95.48	<None>	<Collected>	0.11	125.04	29.5
209: tub3048	209	tub3048	203.26	<None>	<Collected>	0.13	235.20	31.9
66: tub3154	66	tub3154	282.64	<None>	<Collected>	0.04	315.16	32.4
354: red1016	354	red1016	282.36	<None>	<Collected>	0.00	315.14	32.7
264: tub3126	264	tub3126	279.32	<None>	<Collected>	0.04	313.69	34.3
216: tub3038	216	tub3038	146.78	<None>	<Collected>	0.11	182.96	36.1
345: red1007	345	red1007	64.49	<None>	<Collected>	0.00	101.16	36.6
184: tub3106	184	tub3106	198.42	<None>	<Collected>	0.41	236.48	38.0
343: red1005	343	red1005	86.25	<None>	<Collected>	0.00	125.08	38.8
341: red1003	341	red1003	196.30	<None>	<Collected>	0.00	235.20	38.8
59: tub2047	59	tub2047	196.13	<None>	<Collected>	0.06	235.20	39.0
211: tub3155	211	tub3155	195.97	<None>	<Collected>	0.02	235.19	39.1
133: tub3004	133	tub3004	60.00	<None>	<Collected>	0.00	99.98	39.9
118: tub3085	118	tub3085	60.00	<None>	<Collected>	0.02	100.12	40.0
117: tub2085	117	tub2085	60.00	<None>	<Collected>	0.00	100.12	40.0
352: red1014	352	red1014	60.00	<None>	<Collected>	0.00	100.12	40.0
41: tub2088	41	tub2088	60.00	<None>	<Collected>	0.06	100.12	40.0

149 of 149 elements displayed

**Elaborado por:** AUTOR  
**Imagen 4.55:** TABLA FLEXIBLE DE LOS NUDOS

FlexTable: PRV Table (Current Time: 0.000 hours) (TUB\_RED\_VAL\_TRP\_COMPLETA.wtg)

	ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Minor Loss Coefficient (Local)	Hydraulic Grade Setting (Initial) (m)	Pressure Setting (Initial) (m H2O)	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (From) (m)	Hydraulic Grade (To) (m)	Headloss (m)
384: trp1001	384	trp1001	189.48	101.6	0.000	0.00	0.0	4.43	226.95	189.48	37.46
385: trp1002	385	trp1002	229.74	101.6	0.000	0.00	0.0	4.43	309.43	229.74	79.69
386: trp1003	386	trp1003	317.86	147.6	0.000	0.00	0.0	14.47	351.29	317.86	33.44
387: trp1004	387	trp1004	353.79	101.6	0.000	0.00	0.0	14.47	439.97	353.79	86.18
389: trp1006	389	trp1006	248.46	101.6	0.000	0.00	0.0	9.67	306.32	248.46	57.86
390: trp1007	390	trp1007	118.83	101.6	0.000	133.02	14.2	6.59	224.19	133.03	91.16

6 of 6 elements displayed

**Elaborado por:** AUTOR  
**Imagen 4.56:** TABLA FLEXIBLE DE VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN INCLUYE (5 TANQUES ROMPE PRESIÓN)



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

FlexTable: Isolation Valve Table (Current Time: 0.000 hours) (TUB\_RED\_VAL\_TRP\_COMPLETA.wtg)

	ID	Label	Is Operable?	Diameter (Valve) (mm)	Elevation (m)	Referenced Pipe	Flow (L/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)	Velocity (m/s)
369: val1014	369	val1014	✓	46.2	129.02	tub1142	0.11	185.47	56.3	0.06
382: val1027	382	val1027	✓	46.2	86.53	tub1159	0.92	125.04	38.4	0.55
356: val1001	356	val1001	✓	58.2	81.89	tub1083	2.07	124.70	42.7	0.78
357: val1002	357	val1002	✓	58.2	81.89	tub1072	1.06	124.74	42.8	0.40
358: val1003	358	val1003	✓	58.2	80.74	tub1145	0.52	125.22	44.4	0.20
359: val1004	359	val1004	✓	58.2	64.09	tub1080	0.78	125.53	61.3	0.29
360: val1005	360	val1005	✓	58.2	64.98	P-14	0.05	125.57	60.5	0.02
361: val1006	361	val1006	✓	58.2	120.70	tub1059	1.41	182.01	61.2	0.53
363: val1008	363	val1008	✓	58.2	128.30	P-18	0.46	183.05	54.6	0.17
364: val1009	364	val1009	✓	58.2	128.14	P-20	0.06	183.05	54.8	0.02
365: val1010	365	val1010	✓	58.2	127.73	tub1031	0.32	183.10	55.3	0.12
372: val1017	372	val1017	✓	58.2	198.26	tub1049	1.03	236.47	38.1	0.39
373: val1018	373	val1018	✓	58.2	192.70	tub1042	0.71	235.29	42.5	0.27
375: val1020	375	val1020	✓	58.2	188.73	tub1129	0.47	234.43	45.6	0.18
376: val1021	376	val1021	✓	58.2	64.03	tub1054	2.01	126.29	62.1	0.75
377: val1022	377	val1022	✓	58.2	64.33	tub1138	1.28	126.27	61.8	0.48
378: val1023	378	val1023	✓	58.2	63.94	tub1066	1.08	125.68	61.6	0.41
379: val1024	379	val1024	✓	58.2	61.06	tub1131	0.39	125.58	64.4	0.14
380: val1025	380	val1025	✓	58.2	60.00	tub1140	1.58	100.84	40.8	0.59
381: val1026	381	val1026	✓	58.2	60.00	tub1120	0.53	100.10	40.0	0.20
362: val1007	362	val1007	✓	101.6	125.70	tub1029	0.03	182.97	57.2	0.00
366: val1011	366	val1011	✓	101.6	125.55	tub1021	3.15	183.24	57.6	0.39
367: val1012	367	val1012	✓	101.6	131.12	tub1141	0.53	183.77	52.6	0.07
368: val1013	368	val1013	✓	101.6	106.51	tub1141	0.53	181.80	75.1	0.07
370: val1015	370	val1015	✓	101.6	282.74	tub1126	4.67	315.15	32.3	0.58
374: val1019	374	val1019	✓	101.6	188.80	P-2	6.59	234.42	45.5	0.81
371: val1016	371	val1016	✓	147.6	282.54	tub1154	9.76	315.15	32.5	0.57

27 of 27 elements displayed

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.57:** TABLA FLEXIBLE DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL

En todas las tablas flexibles presentadas ya existen valores de presiones, velocidades, caudales y pérdidas de carga, debido a que fueron capturadas después de haber corrido el programa. Como vemos en las tres tablas flexibles de los nudos y las válvulas el campo de las elevaciones ya se encuentra cargado; el proceso de modelación de las alturas o elevaciones es el siguiente:

Primero nos vamos hacia el icono de TRex Wizard  y le damos un click para que nos aparezca la siguiente ventana:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**File Selection**

Select an elevation dataset and the applicable nodes to operate on.

Select Data Source Type

Data Source Type: Esri Shapefile

Elevation Dataset

File: I:\CGIS\topografia\curvas\_de\_nivel.shp

Spatial Reference: Unknown

Select Elevation Field: ELEVATION

X-Y Units: m

Z Units: m

Clip Dataset to Model: ☐

Buffering Percentage: 50.0 %

Model

Spatial Reference: Unknown

Model Features

☐ Also update inactive elements

Nodes to update

☒ All

☐ Selection

☐ Selection Set

Cancel Help < Back Next > Finish

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.58:** VENTANA DE SELECCIÓN DE ARCHIVO

Antes de dar un click en “next” debemos llenar los campos que nos pide en esta ventana tal como se muestra en la misma, prácticamente es el mismo proceso que hemos hecho para cargar el resto de elementos al sistema como seleccionar el tipo de origen de los datos, luego buscar el archivo, verificar el campo donde se encuentran las curvas de nivel y por último las unidades. El resto de información es estándar por lo que no la cambiaremos, con todo esto listo le damos un click en “next” y nos muestra la siguiente ventana:



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**Completing the TRex Wizard**

	Label	Elevation (m)
0	tub2112	67.29
1	tub3112	67.30
2	tub2070	63.30
3	tub3070	63.33
4	tub2101	128.24
5	tub3101	128.25
6	tub2052	64.10
7	tub3052	64.18
8	tub2097	129.98
9	tub3097	130.00

☒ Use Existing Alternative    Base Physical

☐ New Alternative

Parent Alternative: <None>

Click Finish to save the new ground elevation data to the chosen alternative

Export Results...

Cancel    Help    < Back    Next >    Finish

**Elaborado por:** AUTOR


**Imagen 4.59:** VENTANA TERMINACIÓN DE USO DE LA HERRAMIENTA TRex WIZARD

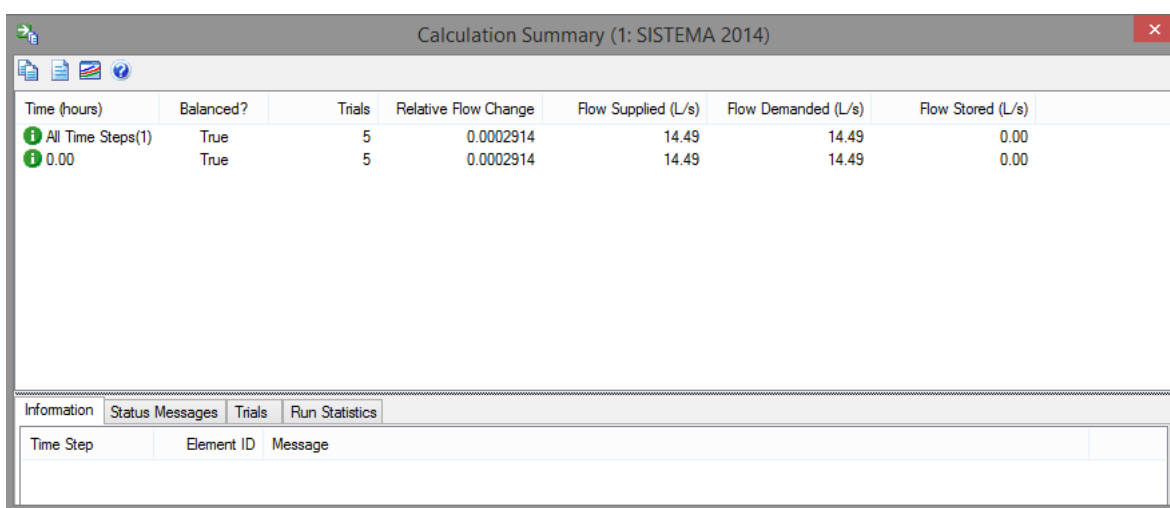
Aquí visualizamos las correspondientes elevaciones de cada elemento, para terminar le damos un click en “*Finish*” y listo hemos terminado por completo con la modelación del sistema de agua potable con el programa WaterGems.



#### 4.3.5. Simulación de funcionamiento del modelo con caudales de diseño y con caudales actuales



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Una vez listo el modelo con todos sus elementos y características podemos pasar a simular el funcionamiento del modelo, en algunos casos al momento de simular el funcionamiento del modelo existen problemas de conectividad de los elementos pero eso lo veremos en la siguiente sección. En este momento el modelo no cuenta con ningún percance para desarrollar el cálculo hidráulico de la red de abastecimiento, entonces el primer escenario a calcular será el que presenta las demandas actuales del estudio de consumos, así que procedemos a darle un click en el icono *Compute*  y el computador generará el cálculo en cuestión de segundos y nos presenta la siguiente ventana:



Time (hours)	Balanced?	Trials	Relative Flow Change	Flow Supplied (L/s)	Flow Demanded (L/s)	Flow Stored (L/s)
 All Time Steps(1)	True	5	0.0002914	14.49	14.49	0.00
 0.00	True	5	0.0002914	14.49	14.49	0.00

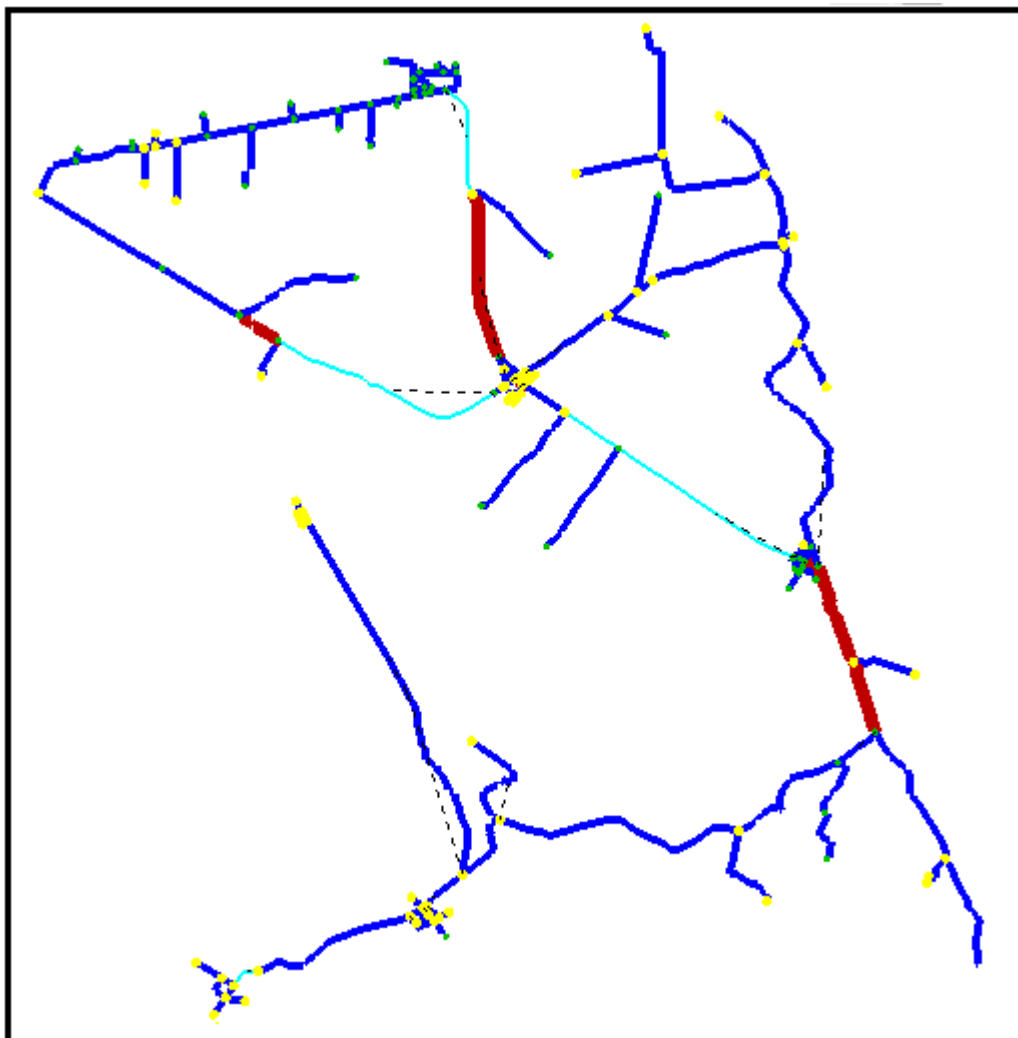
Time Step	Element ID	Message
-----------	------------	---------

**Elaborado por:** AUTOR

**Imagen 4.60:** VENTANA RESUMEN DE LOS CÁLCULOS CON WATERGEMS

Al cerrar esta ventana podremos visualizar como se encuentra la red de distribución, en el anexo 3 se presenta el juego de planos de esta simulación donde se ven todas las características de la red de abastecimiento. En el mapa se podrá visualizar directamente la presión en los nudos y las pérdidas de carga en las tuberías, la primera simulación del funcionamiento del programa nos mostró que el sistema se encuentra de la siguiente forma:





**Elaborado por:** AUTOR

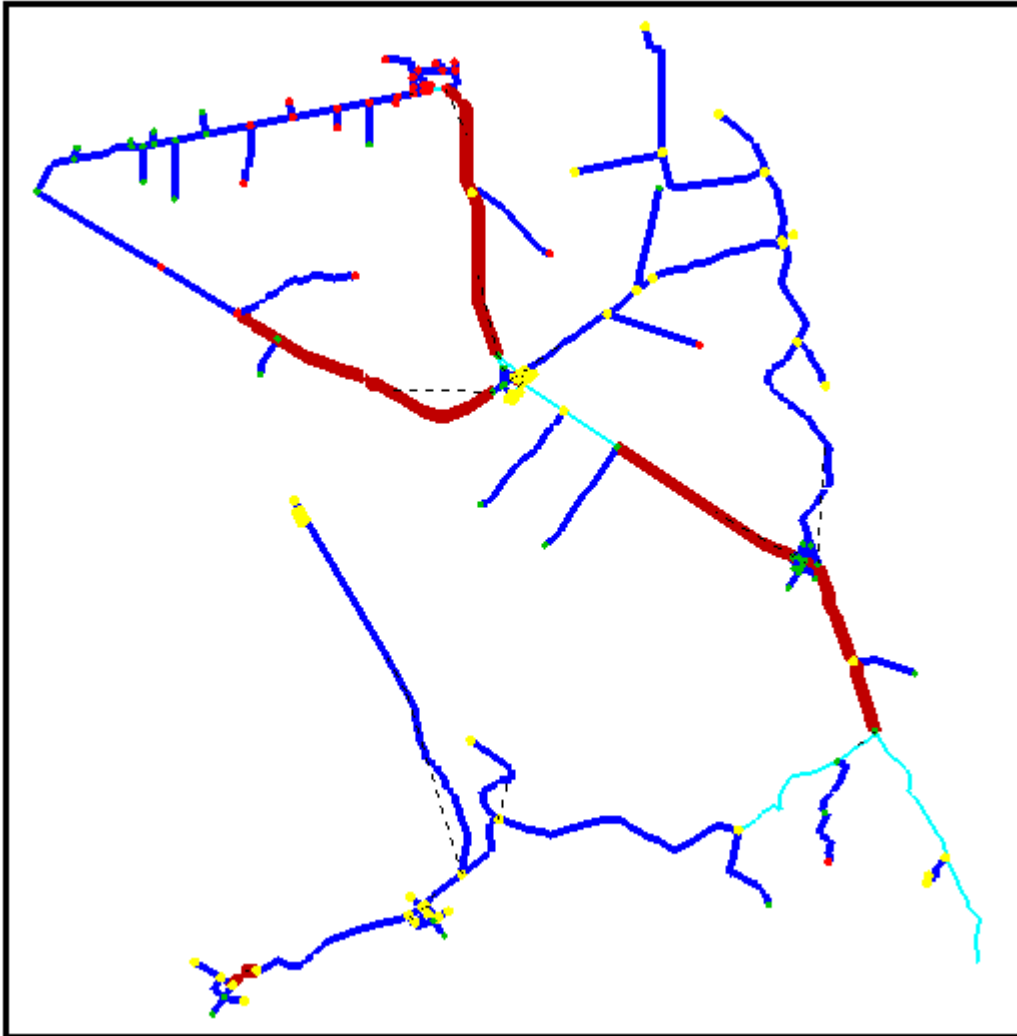
**Imagen 4.61:** SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO CON CAUDALES ACTUALES

Recordando el código de color que se asignó para los nudos y las tuberías podemos destacar que las tuberías en azul representan pérdidas de carga bajas, las tuberías tienen un color cian se están comportando adecuadamente y por último las tuberías en rojo tienen un diámetro insuficiente por razones de pérdidas unitarias de presión y necesitan ser cambiadas. En lo que se refiere a presión en los nudos, si es menor a 7 mca el nudo se pintara de rojo y necesita ser analizado en búsqueda de una solución, si el nudo se pinta de verde las presiones actuantes están en el rango deseado para el sistema, pero si el nudo tiene un color amarillo nos indica que la presión es alta y se necesita una válvula reductora de presión o un tanque rompe presión para disminuir la presión de ese nudo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Ahora realizaremos la simulación del funcionamiento del programa con las demandas proyectadas para la población en 2034.



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.62:** SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO CON EL CAUDAL DE DISEÑO

Igualmente el juego de planos de esta simulación se encuentra en el anexo 3.

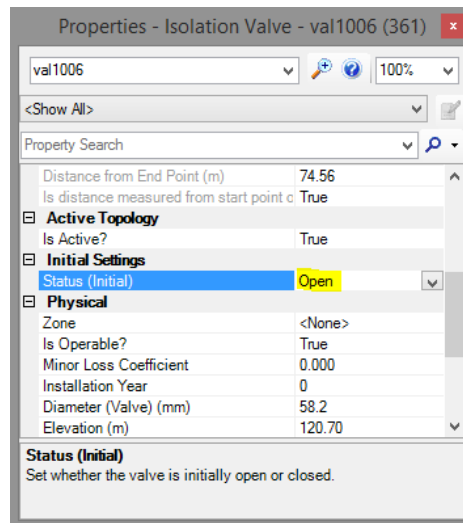


UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

#### 4.3.6. Chequeo de la conectividad de los instrumentos

Siempre previo a la simulación del funcionamiento de un programa es importante verificar si todos los elementos de la red están trabajando conjuntamente unos con otros. Para facilitar el proceso de chequeo se dispone de la siguiente lista de pasos a seguir:

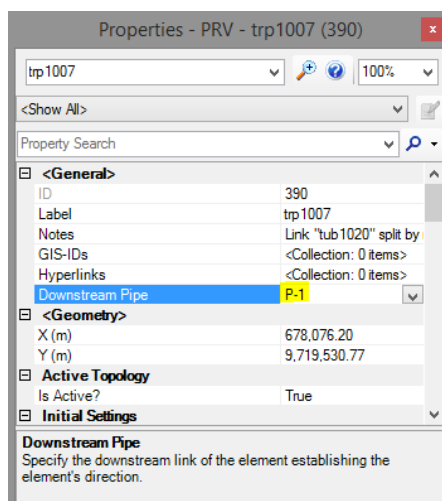
1. Chequemos que todas las válvulas de control se encuentren abiertas.



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.63:** TABLA DE PROPIEDADES DE UNA VÁLVULA DE CONTROL

2. Chequeamos que los tanques rompe presiones o válvulas reductoras de presión se encuentren en el sentido correcto verificando en la tabla de propiedades cual es la tubería aguas debajo de la válvula.




*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.64:** TABLA DE PROPIEDADES DE UNA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

3. Ahora que ya se tiene todos los accesorios funcionando correctamente vamos a **validar** la conectividad de la red de distribución, que no es más que el escaneo que realiza el programa de todo el sistema en busca de algún elemento desconectado a la red como las tuberías, los nudos, las válvulas reductoras de presión o las válvulas de control. Para usar esta herramienta nos dirigimos al icono *Validate*  y nos muestra problemas de conexión del sistema. En el caso de la red de abastecimiento de agua potable de Jesús del gran poder todos los elementos no tienen ningún problema de conectividad formando un sistema cerrado de distribución.

#### 4.4. Formulación de escenarios de cálculo y análisis del sistema

Los dos primeros escenarios de cálculo ya fueron presentados en la sección 4.3.5 donde se hizo la simulación del funcionamiento del programa con los escenarios “Sistema 2014” y “Sistema 2034” que son los cálculos más relevantes para la evaluación y es por eso que comenzaremos con el análisis de estos dos escenarios.

#### Análisis de los sistemas 2014 y 2034

La red de distribución de agua potable Jesús del Gran Poder tiene un buen funcionamiento en la actualidad, pero en el caso del escenario del sistema 2034 la red tiene varios problemas que se analizarán a continuación.

Primero analizaremos el comportamiento de las tuberías de los sistemas 2014 y 2034, para esto se presentan las tablas 4.9 y 4.10 que muestran las tuberías que tienen pérdidas de carga altas.

Diámetro Interno (mm)	Caudal (L/s)	Pérdida de Carga (m/km)	Identificador	Longitud (m)	Material	Velocidad (m/s)
58.2	1.83	13.279	tub1073	83.86	PVC	0.69
58.2	1.86	13.640	tub1053	4.00	PVC	0.70
101.6	-8.24	14.289	tub1106	123.55	PVC	1.02
58.2	2.01	15.756	tub1054	46.12	PVC	0.75
58.2	2.07	16.764	tub1083	1,526.36	PVC	0.78
101.6	-9.67	19.233	P-3	941.60	PVC	1.19
101.6	-9.67	19.234	P-4	12.69	PVC	1.19
101.6	-9.76	19.550	tub1127	669.98	PVC	1.20
37.0	-0.75	23.154	tub1090	435.50	PVC	0.70
37.0	-0.92	33.879	tub1144	3.50	PVC	0.86

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 4. 9:** TABLA DE PÉRDIDAS DE CARGA FUERA DE RANGO SISTEMA 2014



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Diámetro Interno (mm)	Caudal (L/s)	Pérdida de Carga (m/km)	Identificador	Longitud (m)	Material	Velocidad (m/s)
58.2	1.77	12.435	tub1059	282.99	PVC	0.66
101.6	-8.24	14.289	P-1	251.72	PVC	1.02
101.6	-8.24	14.289	P-2	1,637.90	PVC	1.02
58.2	1.98	15.347	tub1140	1,049.35	PVC	0.74
46.2	-1.15	17.364	tub1159	2,196.09	PVC	0.69
101.6	-9.28	17.82	tub1108	112.67	PVC	1.14
58.2	2.29	20.075	tub1073	83.86	PVC	0.86
58.2	2.32	20.62	tub1053	4	PVC	0.87
101.6	-10.3	21.602	tub1106	123.55	PVC	1.27
58.2	2.51	23.819	tub1054	46.12	PVC	0.94
58.2	2.59	25.343	tub1083	1,526.36	PVC	0.97
101.6	-12.09	29.076	P-3	941.6	PVC	1.49
101.6	-12.09	29.076	P-4	12.69	PVC	1.49
101.6	-12.2	29.554	tub1127	669.98	PVC	1.5
37	-0.94	35.003	tub1090	435.5	PVC	0.87
37	-1.15	51.217	tub1144	3.5	PVC	1.07

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.10:** TABLA DE PÉRDIDAS DE CARGA FUERA DE RANGO SISTEMA 2034

El problema que tienen estas tuberías es que tienen una pérdida unitaria de presión grande, lo que produce que la red pierda mucha presión en la distribución del agua por concepto de que el diámetro es insuficiente.

Ahora es importante también verificar como están las velocidades en las tuberías de los dos escenarios de simulación, y para ello igualmente se despliegan tablas resumen que muestran las velocidades que se encuentran fuera del rango aceptable.

Diámetro Interno (mm)	Caudal (L/s)	Pérdida de Carga (m/km)	Identificador	Longitud (m)	Material	Velocidad (m/s)
58.2	0.00	0.000	tub1022	915.79	PVC	0.00
58.2	0.00	0.000	tub1012	119.62	PVC	0.00
58.2	0.00	0.000	tub1030	151.21	PVC	0.00
29.4	0.00	0.000	tub1062	142.02	PVC	0.00
58.2	0.00	0.000	tub1004	62.25	PVC	0.00
58.2	0.01	0.001	tub1122	93.04	PVC	0.00
58.2	0.02	0.004	tub1088	2.54	PVC	0.01
58.2	0.02	0.003	tub1076	45.38	PVC	0.01
58.2	0.02	0.004	tub1014	55.65	PVC	0.01
58.2	0.02	0.003	tub1110	55.95	PVC	0.01
58.2	0.02	0.004	tub1149	75.66	PVC	0.01



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

58.2	0.02	0.003	tub1146	77.17	PVC	0.01
58.2	-0.02	0.004	tub1147	109.92	PVC	0.01
58.2	-0.02	0.004	tub1015	110.52	PVC	0.01
58.2	0.02	0.004	tub1006	145.90	PVC	0.01
58.2	0.02	0.004	tub1005	171.93	PVC	0.01
58.2	0.02	0.004	tub1098	190.23	PVC	0.01
58.2	0.02	0.003	tub1008	199.66	PVC	0.01
58.2	-0.02	0.004	tub1001	221.97	PVC	0.01
58.2	0.02	0.004	tub1026	283.36	PVC	0.01
58.2	0.02	0.003	tub1013	319.87	PVC	0.01
58.2	-0.02	0.004	tub1023	592.34	PVC	0.01
58.2	0.02	0.004	tub1028	587.08	PVC	0.01
58.2	-0.03	0.008	tub1029	291.00	PVC	0.01
46.2	0.02	0.010	tub1047	5.67	PVC	0.01
58.2	-0.04	0.013	tub1152	3.60	PVC	0.02
58.2	0.04	0.013	tub1033	32.09	PVC	0.02
58.2	0.04	0.013	tub1068	33.48	PVC	0.02
58.2	0.04	0.013	tub1133	45.00	PVC	0.02
58.2	0.04	0.013	tub1040	129.35	PVC	0.02
58.2	0.04	0.013	tub1007	553.40	PVC	0.02
58.2	-0.04	0.013	tub1009	536.83	PVC	0.02
58.2	0.05	0.016	P-14	58.18	PVC	0.02
58.2	0.06	0.027	tub1132	42.00	PVC	0.02
58.2	0.06	0.027	tub1111	59.31	PVC	0.02
58.2	-0.06	0.027	tub1151	177.96	PVC	0.02
58.2	0.06	0.027	tub1002	388.23	PVC	0.02
58.2	0.06	0.027	tub1095	884.68	PVC	0.02
58.2	0.06	0.027	P-20	7.63	PVC	0.02
58.2	0.07	0.029	tub1112	0.65	PVC	0.03
58.2	0.07	0.029	P-11	0.65	PVC	0.03
58.2	-0.07	0.029	P-9	0.65	PVC	0.03
29.4	0.02	0.098	tub1074	66.17	PVC	0.03
29.4	0.02	0.098	tub1155	165.96	PVC	0.03
29.4	0.02	0.098	tub1157	391.52	PVC	0.03
29.4	0.02	0.098	tub1055	376.71	PVC	0.03
29.4	0.02	0.098	tub1060	556.33	PVC	0.03
29.4	0.02	0.098	tub1039	708.20	PVC	0.03
58.2	-0.09	0.045	tub1156	7.88	PVC	0.03
58.2	0.09	0.046	P-12	43.43	PVC	0.03
58.2	0.10	0.058	tub1086	173.15	PVC	0.04
58.2	0.11	0.069	tub1032	103.30	PVC	0.04
58.2	-0.11	0.069	tub1148	115.80	PVC	0.04
58.2	0.11	0.069	tub1107	150.27	PVC	0.04
58.2	0.11	0.069	tub1038	175.67	PVC	0.04
58.2	-0.11	0.069	tub1018	491.37	PVC	0.04
58.2	0.11	0.069	tub1065	964.10	PVC	0.04
58.2	0.11	0.069	tub1158	1,180.73	PVC	0.04



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

58.2	-0.13	0.096	tub1087	105.48	PVC	0.05
58.2	-0.13	0.097	tub1153	3.94	PVC	0.05
58.2	0.13	0.097	tub1134	52.00	PVC	0.05
58.2	0.13	0.097	tub1048	176.49	PVC	0.05
58.2	-0.13	0.099	tub1113	488.73	PVC	0.05
58.2	0.14	0.113	tub1085	56.94	PVC	0.05
58.2	0.15	0.127	tub1114	542.93	PVC	0.06
29.4	-0.04	0.353	tub1093	1,169.28	PVC	0.06
46.2	-0.11	0.213	tub1142	1,170.83	PVC	0.06
58.2	0.17	0.163	tub1115	107.17	PVC	0.06
58.2	0.17	0.164	tub1044	6.25	PVC	0.06
58.2	0.17	0.165	tub1137	105.79	PVC	0.06
58.2	0.17	0.165	tub1057	181.42	PVC	0.06
58.2	0.17	0.165	tub1058	278.02	PVC	0.06
58.2	0.17	0.166	tub1125	252.29	PVC	0.06
58.2	-0.18	0.176	tub1079	27.26	PVC	0.07
58.2	-0.19	0.205	tub1160	258.85	PVC	0.07
58.2	-0.19	0.205	tub1051	341.85	PVC	0.07
58.2	0.21	0.250	tub1064	1,255.66	PVC	0.08
58.2	0.23	0.295	tub1116	100.28	PVC	0.09
29.4	0.06	0.748	tub1035	141.41	PVC	0.09
29.4	0.06	0.748	tub1130	819.41	PVC	0.09
58.2	0.26	0.347	tub1016	200.29	PVC	0.10
58.2	0.26	0.350	tub1041	196.34	PVC	0.10
37.0	0.11	0.628	tub1017	5.26	PVC	0.10
46.2	0.17	0.509	tub1045	34.59	PVC	0.10
58.2	0.28	0.406	tub1136	50.21	PVC	0.10
58.2	0.28	0.406	tub1124	1,207.97	PVC	0.10
58.2	0.29	0.425	P-15	54.57	PVC	0.11
58.2	-0.30	0.462	tub1010	283.11	PVC	0.11
58.2	-0.32	0.525	tub1117	412.30	PVC	0.12
37.0	-0.13	0.897	tub1091	817.16	PVC	0.12
58.2	0.32	0.529	tub1031	159.38	PVC	0.12
58.2	0.33	0.540	P-19	0.93	PVC	0.12
58.2	-0.33	0.540	P-17	0.93	PVC	0.12
58.2	0.33	0.563	tub1070	0.81	PVC	0.12
58.2	-0.33	0.563	P-13	0.81	PVC	0.12
58.2	-0.33	0.563	P-16	0.81	PVC	0.12
29.4	0.09	1.273	tub1046	54.96	PVC	0.13
29.4	0.09	1.274	tub1139	905.37	PVC	0.13
29.4	-0.09	1.274	tub1123	1,248.99	PVC	0.13
58.2	0.36	0.667	tub1135	49.28	PVC	0.14
58.2	0.37	0.702	tub1037	80.80	PVC	0.14
58.2	-0.38	0.737	tub1011	391.14	PVC	0.14
58.2	-0.39	0.742	tub1131	917.82	PVC	0.14
58.2	0.42	0.854	tub1089	97.30	PVC	0.16
58.2	-0.45	0.981	tub1118	418.79	PVC	0.17





**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

58.2	0.46	1.028	P-18	73.78	PVC	0.17
101.6	1.41	0.545	tub1099	1,538.62	PVC	0.17
101.6	1.41	0.540	tub1101	0.93	PVC	0.17
58.2	-0.47	1.070	tub1119	296.07	PVC	0.18
58.2	-0.47	1.075	tub1061	676.92	PVC	0.18
58.2	-0.47	1.075	tub1129	196.10	PVC	0.18
58.2	0.48	1.122	tub1121	59.31	PVC	0.18
58.2	0.49	1.165	tub1097	1.92	PVC	0.19
29.4	-0.13	2.699	tub1094	1,114.62	PVC	0.19
29.4	-0.13	2.750	tub1056	1,323.63	PVC	0.19
58.2	-0.51	1.263	tub1063	37.96	PVC	0.19
58.2	0.52	1.290	tub1145	148.86	PVC	0.20
58.2	-0.53	1.356	tub1003	260.61	PVC	0.20
58.2	-0.53	1.357	tub1120	148.54	PVC	0.20
58.2	0.53	1.363	tub1043	32.44	PVC	0.20
58.2	0.53	1.363	tub1141	3,654.51	PVC	0.20
58.2	0.54	1.365	tub1024	128.47	PVC	0.20
58.2	0.60	1.678	tub1096	129.43	PVC	0.23
101.6	1.85	0.900	tub1100	144.23	PVC	0.23
58.2	0.71	2.279	tub1042	44.98	PVC	0.27
58.2	0.76	2.584	tub1067	74.22	PVC	0.28
58.2	-0.78	2.754	tub1080	104.69	PVC	0.29

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.11:** TABLA VELOCIDADES FUERA DE RANGO SISTEMA 2014

Diámetro Interno (mm)	Caudal (L/s)	Pérdida de Carga (m/km)	Identificador	Longitud (m)	Material	Velocidad (m/s)
58.2	0.00	0.000	tub1022	915.79	PVC	0.00
29.4	0.00	0.000	tub1062	142.02	PVC	0.00
58.2	0.00	0.000	tub1012	119.62	PVC	0.00
58.2	0.00	0.000	tub1004	62.25	PVC	0.00
58.2	0.00	0.000	tub1030	151.21	PVC	0.00
58.2	0.01	0.002	tub1122	93.04	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1088	2.54	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1076	45.38	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1014	55.65	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1110	55.95	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1149	75.66	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1146	77.17	PVC	0.01
58.2	-0.03	0.005	tub1147	109.92	PVC	0.01
58.2	-0.03	0.005	tub1015	110.52	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1006	145.90	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1005	171.93	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1098	190.23	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1008	199.66	PVC	0.01
58.2	-0.03	0.005	tub1001	221.97	PVC	0.01



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

58.2	0.03	0.005	tub1026	283.36	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1013	319.87	PVC	0.01
58.2	-0.03	0.005	tub1023	592.34	PVC	0.01
58.2	0.03	0.005	tub1028	587.08	PVC	0.01
58.2	-0.04	0.012	tub1029	291.00	PVC	0.02
46.2	0.03	0.016	tub1047	5.67	PVC	0.02
58.2	-0.05	0.018	tub1152	3.60	PVC	0.02
58.2	0.05	0.019	tub1033	32.09	PVC	0.02
58.2	0.05	0.019	tub1068	33.48	PVC	0.02
58.2	0.05	0.019	tub1133	45.00	PVC	0.02
58.2	0.05	0.019	tub1040	129.35	PVC	0.02
58.2	0.05	0.019	tub1007	553.40	PVC	0.02
58.2	-0.05	0.019	tub1009	536.83	PVC	0.02
58.2	0.06	0.024	P-14	58.18	PVC	0.02
58.2	0.08	0.041	tub1132	42.00	PVC	0.03
58.2	0.08	0.041	tub1111	59.31	PVC	0.03
58.2	-0.08	0.041	tub1151	177.96	PVC	0.03
58.2	0.08	0.041	tub1002	388.23	PVC	0.03
58.2	0.08	0.041	tub1095	884.68	PVC	0.03
58.2	0.08	0.039	P-20	7.63	PVC	0.03
58.2	0.09	0.043	tub1112	0.65	PVC	0.03
58.2	0.09	0.043	P-11	0.65	PVC	0.03
58.2	-0.09	0.043	P-9	0.65	PVC	0.03
29.4	0.03	0.148	tub1074	66.17	PVC	0.04
29.4	0.03	0.148	tub1155	165.96	PVC	0.04
29.4	0.03	0.148	tub1157	391.52	PVC	0.04
29.4	0.03	0.148	tub1055	376.71	PVC	0.04
29.4	0.03	0.148	tub1060	556.33	PVC	0.04
29.4	0.03	0.148	tub1039	708.20	PVC	0.04
58.2	0.11	0.069	P-12	43.43	PVC	0.04
58.2	-0.11	0.068	tub1156	7.88	PVC	0.04
58.2	0.12	0.088	tub1086	173.15	PVC	0.05
58.2	0.13	0.105	tub1032	103.30	PVC	0.05
58.2	-0.13	0.105	tub1148	115.80	PVC	0.05
58.2	0.13	0.105	tub1107	150.27	PVC	0.05
58.2	0.13	0.105	tub1038	175.67	PVC	0.05
58.2	-0.13	0.105	tub1018	491.37	PVC	0.05
58.2	0.13	0.105	tub1065	964.10	PVC	0.05
58.2	0.13	0.105	tub1158	1,180.73	PVC	0.05
58.2	-0.16	0.145	tub1087	105.48	PVC	0.06
58.2	-0.16	0.146	tub1153	3.94	PVC	0.06
58.2	0.16	0.147	tub1134	52.00	PVC	0.06
58.2	0.16	0.147	tub1048	176.49	PVC	0.06
58.2	-0.16	0.149	tub1113	488.73	PVC	0.06
58.2	0.17	0.171	tub1085	56.94	PVC	0.07
58.2	0.19	0.192	tub1114	542.93	PVC	0.07
29.4	-0.05	0.533	tub1093	1,169.28	PVC	0.08
46.2	-0.13	0.322	tub1142	1,170.83	PVC	0.08
58.2	0.21	0.246	tub1115	107.17	PVC	0.08
58.2	0.21	0.250	tub1044	6.25	PVC	0.08
58.2	0.21	0.250	tub1137	105.79	PVC	0.08



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

58.2	0.21	0.250	tub1057	181.42	PVC	0.08
58.2	0.21	0.250	tub1058	278.02	PVC	0.08
58.2	0.21	0.251	tub1125	252.29	PVC	0.08
58.2	-0.22	0.267	tub1079	27.26	PVC	0.08
58.2	-0.24	0.311	tub1160	258.85	PVC	0.09
58.2	-0.24	0.311	tub1051	341.85	PVC	0.09
58.2	0.27	0.377	tub1064	1,255.66	PVC	0.10
58.2	0.29	0.446	tub1116	100.28	PVC	0.11
29.4	0.08	1.130	tub1035	141.41	PVC	0.12
29.4	0.08	1.130	tub1130	819.41	PVC	0.12
58.2	0.32	0.524	tub1016	200.29	PVC	0.12
58.2	0.32	0.529	tub1041	196.34	PVC	0.12
37.0	0.13	0.949	tub1017	5.26	PVC	0.12
46.2	0.21	0.769	tub1045	34.59	PVC	0.13
58.2	0.35	0.614	tub1124	1,207.97	PVC	0.13
58.2	0.35	0.614	tub1136	50.21	PVC	0.13
58.2	0.36	0.642	P-15	54.57	PVC	0.13
58.2	-0.37	0.698	tub1010	283.11	PVC	0.14
58.2	-0.40	0.794	tub1117	412.30	PVC	0.15
37.0	-0.16	1.356	tub1091	817.16	PVC	0.15
58.2	0.40	0.800	tub1031	159.38	PVC	0.15
58.2	0.41	0.820	P-19	0.93	PVC	0.15
58.2	-0.41	0.820	P-17	0.93	PVC	0.15
58.2	0.41	0.839	tub1070	0.81	PVC	0.15
58.2	-0.41	0.839	P-13	0.81	PVC	0.15
58.2	-0.41	0.839	P-16	0.81	PVC	0.15
29.4	0.11	1.925	tub1046	54.96	PVC	0.16
29.4	0.11	1.925	tub1139	905.37	PVC	0.16
29.4	-0.11	1.925	tub1123	1,248.99	PVC	0.16
58.2	0.45	1.008	tub1135	49.28	PVC	0.17
58.2	0.47	1.061	tub1037	80.80	PVC	0.18
58.2	-0.48	1.114	tub1011	391.14	PVC	0.18
58.2	-0.48	1.121	tub1131	917.82	PVC	0.18
58.2	0.52	1.291	tub1089	97.30	PVC	0.20
58.2	-0.56	1.483	tub1118	418.79	PVC	0.21
58.2	0.57	1.554	P-18	73.78	PVC	0.22
101.6	1.77	0.824	tub1099	1,538.62	PVC	0.22
101.6	1.77	0.820	tub1101	0.93	PVC	0.22
58.2	-0.59	1.617	tub1119	296.07	PVC	0.22
58.2	-0.59	1.626	tub1129	196.10	PVC	0.22
58.2	-0.59	1.626	tub1061	676.92	PVC	0.22
58.2	0.60	1.696	tub1121	59.31	PVC	0.23
58.2	0.62	1.766	tub1097	1.92	PVC	0.23
29.4	-0.16	4.080	tub1094	1,114.62	PVC	0.24
29.4	-0.16	4.157	tub1056	1,323.63	PVC	0.24
58.2	-0.64	1.910	tub1063	37.96	PVC	0.24
58.2	0.65	1.950	tub1145	148.86	PVC	0.24
58.2	-0.67	2.051	tub1003	260.61	PVC	0.25
58.2	-0.67	2.051	tub1120	148.54	PVC	0.25
58.2	0.67	2.060	tub1141	3,654.51	PVC	0.25
58.2	0.67	2.060	tub1043	32.44	PVC	0.25



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

58.2	0.67	2.063	tub1024	128.47	PVC	0.25
58.2	0.75	2.537	tub1096	129.43	PVC	0.28
101.6	2.31	1.361	tub1100	144.23	PVC	0.29

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.12:** TABLA VELOCIDADES FUERA DE RANGO SISTEMA 2034

Como se puede ver en el caso de las velocidades existen muchas más tuberías que tienen inconvenientes, pero para este sistema no es necesario alarmarse ya que como se puede observar en el catastro de redes y usuarios existen muchas extensiones o ramificaciones de la red que no tienen demanda de caudal porque en esa zona no existen domiciliarias conectadas actualmente sino están proyectadas para un futuro. Por esta razón las tuberías que tienen velocidad cero así mismo tienen cero de demanda en los nudos conectados por las mismas. En las zonas donde ocurren estos problemas existen ramales con uno o dos usuarios que se encuentran conectados, de igual manera, esto sucede en sectores donde no existen gran cantidad de domiciliarias y por lo tanto las velocidades serán bajas; estos casos ocurren por lo general porque las tuberías tienen un diámetro muy grande para el caudal que llevan o también sucede cuando se comienza con una nueva zona de servicio al salir el agua de un tanque rompe presiones.

Ahora se presentan las presiones que están fuera del rango establecido por la norma de los escenarios de simulación de los sistemas 2014 y 2034 para analizar sus diferentes problemáticas.

Demanda (L/s)	Elevación (m)	Identificador	Presión (mca)
0.04	186.59	tub3040	40.4
0.24	80.74	tub2082	40.4
0.28	80.68	tub2079	40.6
0.02	259.73	tub3028	40.8
0.00	40.00	red1006	41.1
0.02	134.61	tub3098	41.6
0.00	38.02	tub2016	43.2
0.09	77.82	tub3079	43.5
0.30	135.49	tub3037	44.1
0.04	36.14	tub3116	45.0
0.04	134.55	tub3033	45.1
0.00	259.75	tub2022	45.7
0.30	130.00	tub3097	46.2
0.28	129.98	tub2097	46.2
0.17	133.44	tub2033	46.2
0.11	133.34	tub3032	46.3
0.00	33.38	tub3012	47.8
0.17	127.51	tub3057	48.6
0.17	127.18	tub3058	49.0
0.09	130.52	tub3036	49.1
0.26	131.39	tub3021	49.4



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

0.02	31.68	tub2116	49.5
0.19	126.39	tub3024	49.8
0.00	129.54	tub3030	50.0
0.28	125.92	tub2024	50.4
0.04	30.00	tub2009	51.2
0.06	249.14	tub2028	51.4
0.15	128.25	tub3101	51.4
0.11	128.24	tub2101	51.4
0.00	128.05	red1008	51.6
0.19	127.67	tub2102	52.1
0.06	68.63	tub3111	53.2
0.41	72.44	tub3152	53.4
0.00	72.03	red1012	53.8
0.41	125.61	tub3100	53.9
0.06	125.48	tub3035	54.1
0.39	129.15	tub2103	54.2
0.02	26.96	tub3013	54.2
0.06	67.30	tub3112	54.5
0.04	67.29	tub2112	54.5
0.02	66.76	tub3076	55.0
0.06	64.85	tub2151	56.1
0.04	65.37	tub3075	56.4
0.02	64.34	tub3151	56.6
0.02	64.93	tub2053	56.7
0.17	64.04	tub3053	57.5
0.02	64.00	tub3110	57.8
0.11	125.00	tub2142	58.1
0.21	63.33	tub3070	58.3
0.04	63.30	tub2070	58.3
0.17	64.18	tub3052	58.6
0.26	64.10	tub2052	58.6
0.06	62.56	tub3054	59.5
0.00	119.11	red1001	59.6
0.02	378.20	tub3074	60.0
0.09	61.11	tub2069	60.5
0.06	60.73	tub2068	61.1
0.04	58.95	tub3068	62.9
0.00	374.61	red1004	63.6
0.13	54.71	tub3051	66.3
0.11	147.42	tub2018	71.4
0.00	363.16	tub2026	75.0
0.17	230.00	tub3022	75.4
0.41	17.52	tub2139	77.2
0.13	130.00	tub3018	88.8
0.04	72.29	tub2135	103.4
0.04	71.27	tub2133	104.4
0.13	71.03	tub3134	104.6
0.04	70.37	tub3133	105.3
0.17	70.00	tub3137	105.6
0.06	70.00	tub3132	105.6
0.04	70.00	tub2132	105.6



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

0.00	98.91	tub3062	117.0
0.06	93.04	tub3130	121.0
0.06	88.98	tub3063	127.0
0.04	86.82	tub2063	129.1
0.17	76.11	tub2061	139.0
0.13	73.92	tub3156	140.7
0.00	73.78	red1015	140.9
0.02	71.98	tub3039	143.1
0.21	64.64	tub3064	150.9
0.09	52.65	tub2123	160.4

*Elaborado por: AUTOR*

**Tabla 4.13:** TABLA RESUMEN DE LOS NODOS CON PRESIONES ANORMALES SISTEMA 2014

Demanda (L/s)	Elevación (m)	Identificador	Presión (mca)
0.11	83.14	tub3139	-9.6
0.00	64.49	red1007	-4.3
0.00	60.00	tub3004	-2.5
0.03	60.00	tub3085	-2.2
0.00	60.00	tub2085	-2.2
0.00	60.00	red1014	-2.2
0.08	60.00	tub2088	-2.2
0.00	58.67	tub2005	-2.2
0.32	60.00	tub3121	-2.2
0.08	60.00	tub3150	-2.1
0.00	59.56	tub2004	-2.0
0.03	60.00	tub3149	-1.8
0.08	60.00	tub2150	-1.8
0.05	57.39	tub2006	-1.5
0.03	56.87	tub3006	-1.0
0.03	60.00	tub2147	-0.8
0.08	60.00	tub3147	-0.8
0.43	60.00	tub2084	-0.7
0.08	115.61	tub3095	-0.7
0.03	59.46	tub2001	-0.3
0.00	57.10	tub2003	-0.1
0.08	58.36	tub2146	0.8
0.13	60.06	tub3158	1.1
0.03	55.94	tub3146	3.2
0.03	304.74	tub3060	3.5
0.05	51.63	tub3007	3.8
0.03	53.54	tub3157	4.2
0.03	51.87	tub3005	4.6
0.03	50.00	tub2011	5.4
0.00	55.75	red1011	5.5
0.64	55.75	tub2017	5.6
0.05	134.55	tub3033	40.1
0.21	133.44	tub2033	41.2
0.13	133.34	tub3032	41.3
0.21	127.51	tub3057	41.8



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

0.21	127.18	tub3058	42.2
0.08	249.14	tub2028	42.6
0.24	126.39	tub3024	43.1
0.35	125.92	tub2024	43.8
0.11	130.52	tub3036	44.1
0.32	131.39	tub3021	45.0
0.00	129.54	tub3030	45.0
0.19	128.25	tub3101	46.4
0.13	128.24	tub2101	46.5
0.00	128.05	red1008	46.6
0.24	127.67	tub2102	47.1
0.08	68.63	tub3111	47.5
0.08	67.30	tub3112	48.8
0.05	67.29	tub2112	48.8
0.51	125.61	tub3100	48.9
0.08	125.48	tub3035	49.1
0.03	66.76	tub3076	49.4
0.51	72.44	tub3152	49.8
0.08	64.85	tub2151	49.9
0.00	72.03	red1012	50.2
0.03	64.34	tub3151	50.4
0.05	65.37	tub3075	50.8
0.03	64.93	tub2053	50.9
0.48	129.15	tub2103	51.1
0.21	64.04	tub3053	51.8
0.03	64.00	tub3110	52.1
0.27	63.33	tub3070	52.5
0.05	63.30	tub2070	52.6
0.21	64.18	tub3052	53.4
0.32	64.10	tub2052	53.5
0.08	62.56	tub3054	53.9
0.00	119.11	red1001	54.1
0.11	61.11	tub2069	54.8
0.13	125.00	tub2142	54.8
0.08	60.73	tub2068	55.5
0.13	147.42	tub2018	56.3
0.03	378.20	tub3074	56.4
0.05	58.95	tub3068	57.2
0.51	17.52	tub2139	57.7
0.00	374.61	red1004	60.0
0.16	54.71	tub3051	60.2
0.21	230.00	tub3022	69.1
0.00	363.16	tub2026	71.4
0.16	130.00	tub3018	73.7
0.05	72.29	tub2135	96.4
0.05	71.27	tub2133	97.4
0.16	71.03	tub3134	97.7
0.05	70.37	tub3133	98.3
0.21	70.00	tub3137	98.6
0.08	70.00	tub3132	98.7
0.05	70.00	tub2132	98.7





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

0.00	98.91	tub3062	100.5
0.08	93.04	tub3130	103.6
0.08	88.98	tub3063	110.5
0.05	86.82	tub2063	112.6
0.21	76.11	tub2061	122.2
0.16	73.92	tub3156	123.6
0.00	73.78	red1015	123.7
0.03	71.98	tub3039	126.2
0.27	64.64	tub3064	134.3
0.11	52.65	tub2123	142.4

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.14:** TABLA RESUMEN DE LOS NODOS CON PRESIONES ANORMALES SISTEMA 2034

Primero al analizar las presiones obtenidas del sistema 2014 podemos notar que existen muchas zonas con presiones altas, donde podemos destacar a la zona de la Suya Alto que es la que tiene las presiones más altas, por lo que se necesitan válvulas reductoras de presión o dividirse nuevas zonas de servicio con la colocación de tanques rompe presiones.

En la simulación de funcionamiento del sistema 2034 los problemas aumentan ya que las presiones han disminuido significativamente y nos encontramos con muchas presiones bajas y hasta negativas, el problema radica en que al aumentar el caudal de 14,49 l/s a 18.12l/s las tuberías generaron una mayor pérdida unitaria de presión. Todas esas presiones bajas y negativas están concentradas en la comunidad de La Suya y se debe a que como podemos ver en la imagen 4.62 y en el juego de planos de esta simulación que se encuentra en el anexo 3, las tuberías que distribuyen el agua desde Putucay hasta La Suya y desde Putucay a la Compuerta tienen pérdidas de carga fuera de los rangos establecidos, generando así una caída de presión al momento de abastecer agua a esta zona.

Lo más preocupante de esta evaluación es la presión negativa que posee el nudo con el identificador “tub3139”, lo interesante es que existen zonas con presiones altas que se encuentran cerca de este nodo como Putucay, pero la tubería “tub1083” con una longitud de 1,526.36 m que conecta a la comunidad con este ramal, tiene problemas de pérdida de carga de 25.34 m/km lo que produce un descenso de la presión de 38.68 mca al momento de llegar en nudo “tub2139” que es desde donde se desprende el ramal que llega hasta el nodo “tub3139”. Además de estos problemas otra razón es que el desnivel entre los nodos “tub2139” y “tub3139” es de 65.62 m en menos de 1 km.

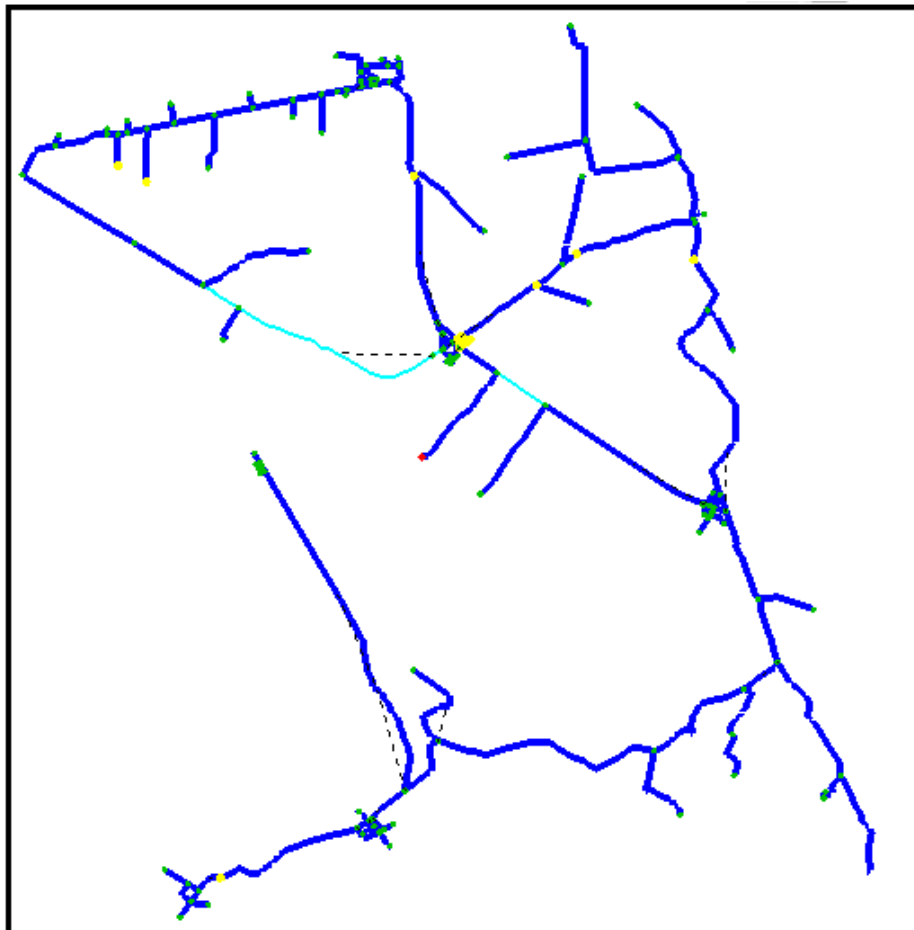
Para dar una solución adecuada a los problemas que tiene y que va a tener la red de abastecimiento en estudio, se debe realizar un rediseño que mejore el funcionamiento del sistema, pero esta mejora no debe sólo considerar los



problemas que se tienen actualmente sino los que se generaran con la población de diseño, como se puede ver en el escenario del sistema 2034. Para brindar una solución se han generado dos escenarios que presentan el mismo rediseño de la red de distribución, pero se simulará su funcionamiento con caudales actuales y caudales de diseño. Todos los cambios que se hagan a la red se presentarán en los escenarios de rediseño.

### **Escenarios de rediseño del sistema actual de agua potable de Jesús del Gran Poder**

Para rediseñar el sistema actual de agua potable se tomará en consideración todas las complicaciones que se pudieron notar en la evaluación y análisis de los escenarios del sistema 2014 y del 2034.



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.65:** ESCENARIO DE REDISEÑO CON CAUDALES 2014



*Elaborado por:* AUTOR

**Imagen 4.66:** ESCENARIO DE REDISEÑO CON CAUDALES 2034

Los planos de estos escenarios se presentan en el anexo 4.

Para el rediseño del sistema actual de abastecimiento se hacen los siguientes cambios: a) cambio de diámetro de las tuberías, b) instalación de válvulas reductoras de presión y c) nuevas zonas de servicio con la instalación de tanques rompe presiones. Después de realizados todos estos cambios se simulará el funcionamiento del sistema de rediseño con el caudal actual y con el caudal de diseño.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Los cambios realizados son los siguientes:

- Cambio de tuberías

<b>Cambio de tuberías</b>			
Identificador	Diámetro Actual (mm)	Diámetro de Rediseño (mm)	Longitud (m)
tub1059	63	110	282.99
P-1	110	160	251.72
P-2	110	160	1,637.90
tub1140	63	110	1,049.35
tub1159	50	63	2,196.09
tub1108	110	160	112.67
tub1073	63	110	83.86
tub1053	63	110	4
tub1106	110	160	123.55
tub1054	63	110	46.12
tub1083	63	110	1,526.36
P-3	110	160	941.6
P-4	110	160	12.69
tub1127	110	160	669.98
tub1090	40	63	435.5
tub1144	40	63	3.5
tub1091	40	63	817.16
tub1056	32	63	1,323.63

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.15:** TABLA DE CAMBIO DE TUBERÍAS

- Instalación de válvulas reductoras de presión.

<b>Válvulas reductoras de presión nuevas</b>						
Descripción	Identificador	Cantidad	Diámetro de entrada y de salida	Elevación (msnm)	Presión de salida (mca)	Pérdida de carga generada (mca)
Ramal P30 - P29	PRV-3	1	63 mm x 1.0 Mpa	159.95	7	42.82
Ramal P40 - P39	PRV-7	1	110 mm x 1.0 Mpa	249.97	24	31.63
Ramal P42 - P41	PRV-8	1	110 mm x 1.0 Mpa	150.27	16	16.71
Ramal P43 - P44	PRV-9	1	160 mm x 1.0 Mpa	265.1	10	35.08
Ramal P45 - P46	PRV-11	1	160 mm x 1.0 Mpa	209.98	10	24.88
Ramal P51 - P50	PRV-12	1	63 mm x 1.0 Mpa	89.51	16.8	48.87
Ramal P52 - P53	PRV-13	1	32 mm x 1.0 Mpa	69.99	10	23.79
Ramal P54 - P55	PRV-14	1	110 mm x 1.0 Mpa	90.24	18.8	19
Ramal P59 - P58	PRV-16	1	110 mm x 1.0 Mpa	57.27	12.4	27.65

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.16:** TABLA DE INSTALACIÓN DE NUEVAS VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- Construcción de nuevos tanques rompe presión

Tanques rompe presión nuevos				
Descripción	Identificador	Cantidad	Diámetro de entrada y de salida	Elevación (msnm)
Ramal P36 - P35	PRV-5	1	63 mm x 1.0 Mpa	105.05
Ramal P37 - P38	PRV-6	1	160 mm x 1.0 Mpa	389.94

*Elaborado por:* AUTOR

**Tabla 4.17:** TABLA DE TANQUES ROMPE PRESIONES DE REDISEÑO

### Análisis del sistema de rediseño con caudales actuales 2014 y de diseño 2034

Al modelo de rediseño se lo evaluó con demandas generadas por la población del año 2014 y también del año 2034. A simple vista podemos notar como los sistemas están mucho más equilibrados en cuanto a presiones y a pérdidas de carga en las tuberías. Las velocidades disminuyeron un poco en comparación con el sistema actual pero mantienen el mismo comportamiento en zonas de poca demanda. En lo que se refiere a las tuberías, la pérdida unitaria de presión que se genera a lo largo de las tuberías ya no es un problema porque ninguna sobrepasa el rango establecido de 12m/km en ninguno de los dos escenarios.

De la misma manera la presión en los nudos se ha estabilizado en gran magnitud en comparación con el sistema actual, ya que como vemos en la tabla 4.18 no se muestran presiones pico muy altas tal como sucede en el escenario actual donde se ven presiones de mayores a los 100 mca.

Demanda (L/s)	Elevación (m)	Identificador	Presión (mca)
0.04	100.00	tub2093	6.9
0.21	63.33	tub3070	40.6
0.04	63.30	tub2070	40.6
0.00	119.11	red1001	40.7
0.04	30.00	tub2009	40.7
0.21	64.64	tub3064	41.1
0.06	62.56	tub3054	41.5
0.09	61.11	tub2069	42.8
0.06	60.73	tub2068	43.2
0.00	116.74	J-2	43.3
0.02	26.96	tub3013	44.0
0.04	58.95	tub3068	45.0
0.13	54.71	tub3051	48.5
0.41	17.52	tub2139	84.5

*Elaborado por:* AUTOR.

**Tabla 4.18:** TABLA RESUMEN DE LOS NODOS CON PRESIONES ANORMALES SISTEMA DE REDISEÑO 2014



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Demanda (L/s)	Elevación (m)	Identificador	Presión (mca)
0.05	100.00	tub2093	5.7
0.11	61.11	tub2069	40.2
0.08	60.73	tub2068	40.7
0.27	64.64	tub3064	40.9
0.03	26.96	tub3013	41.8
0.05	58.95	tub3068	42.5
0.16	54.71	tub3051	45.5
0.51	17.52	tub2139	80.3

**Elaborado por:** AUTOR

**Tabla 4.19:** TABLA RESUMEN DE LOS NODOS CON PRESIONES ANORMALES SISTEMA DE REDISEÑO 2014

Las presiones obtenidas en ambos escenarios son más estables, en lo que corresponde al escenario de rediseño con caudal del 2014 encontramos una presión bajo el rango de 7 mca, que es la del nudo “tub2093” con un valor de 6.9 mca pero está muy cerca del rango establecido, aunque en este escenario las presiones son un poco más altas en comparación con el escenario de rediseño con caudales del 2034, solamente tenemos 13 nudos de 151 (total del sistema) que después del rediseño presentan un problema de presiones altas, de las cuales 12 de ellas no llegan a los 50mca. La presión más alta es la del nudo con el identificador “tub2139”, lo cual es lógico ya que este nudo está ubicado en el área más baja de todo el sistema con apenas 17,52 msnm, lo cual es conveniente porque este nudo abastece de agua al nudo “tub3139” que como fue explicado en los escenarios de los sistemas 2014 y 2034 tiene un gran desnivel con respecto a la matriz.

En el escenario de rediseño con caudales del 2034 las presiones bajan un poco pero son bastante parecidas a las del escenario anterior. Aquí podemos observar que aparece nuevamente el nudo “tub2093” con una presión de 5.7 mca, esta presión desafortunadamente va a permanecer en un rango bajo de presión.



## CAPÍTULO QUINTO

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Potencialidades y limitantes del sistema

##### Potencialidades

- El sistema de agua potable Jesús del Gran Poder puede ampliar su cobertura aún más de lo que cubre actualmente ya que en estos momentos cuenta con dos captaciones que le brindan hasta 15 lt/s, aunque la planta de tratamiento sólo está generando de 8 a 10 lt/s para satisfacer las demandas actuales del sistema.
- La planta de tratamiento cuenta con la captación de Pogllos que puede pasar a ser parte del sistema de agua potable a tiempo completo a medida que la población vaya creciendo o que la red se vaya ampliando. En el estudio de consumos se obtuvo que para el año 2034 el caudal máximo horario va a ser de aproximadamente de 18,12 lt/s por lo que el refuerzo que brindaría esta captación serviría mucho para mantener un servicio de calidad.
- La red de distribución está en muy buen estado por que se ha seguido correctamente las actividades de operación y mantenimiento durante los tres años de funcionamiento, lo que le da un grado alto de confianza de que el sistema brinde el servicio de agua potable inclusive ante alguna eventualidad técnica o de la naturaleza.

##### Limitantes

- Debido a que el sistema de agua potable se encuentra en una zona rural genera una problemática de abastecimiento a usuarios que tengan sus viviendas muy alejadas de las matrices principales, inclusive si estos usuarios se encuentran dentro del área de servicio establecido por la empresa.





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

- El sistema de conducción cruza a través de una topografía muy peligrosa y de difícil acceso que hace que todo el sistema en si se vuelva vulnerable, y que en el caso de fallar pueda significar un largo periodo de desabastecimiento de agua para todas las comunidades que forman parte del sistema.

## **5.2. Propuestas de mejoramiento**

- La principal propuesta planteada para el mejoramiento de la red de distribución es el cambio de las tuberías y la creación de nuevas áreas de servicio tal como se presenta en el “Escenario de rediseño del sistema actual de agua potable de Jesús del Gran Poder”.
- Las tuberías que necesitan un cambio inmediato o a corto plazo son las tuberías tub1159, tub1144 y tub1090, que tienen un diámetro realmente pequeño para las demandas actuales, por lo que se reemplazarían por las tuberías con los diámetros propuestos en el sistema de rediseño. Al realizar estos cambios el sistema mejoraría en gran parte y el resto del mejoramiento se podría realizar en un par de años más.



## CAPÍTULO SEXTO

### 6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. **Ann Ricchiazzi y Gamaiel Zavala.** National Center For Geographic Information and Analysis (NCGIA). [En línea] 1998. [Citado el: 15 de Octubre de 2014.] <http://www.ncgia.ucsb.edu/>.
2. **ESRI.** *What is ArcGIS*. California : ESRI, 2004.
3. **Aquageo.** Aquageo. [En línea] [Citado el: 16 de 10 de 2014.] <http://www.aquageo.es/>.
4. **Anabel Canales, Marisol Escobar, Ana Fernández, Jessica Jiménez, Claribel Muñoz, Brenda Torres, Anahí Reyes.** *Tamaño de la muestra*.
5. **Biblioteca Atrium de las instalaciones: Agua. Volumen 3.** *Conceptos básicos de hidráulica*. S.l. : Oceano/centrum.
6. **Organización Panamericana de la Salud.** *GUÍA PARA EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMAS RURALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA*. Lima : s.n., 2005.
7. **José Aguera Soriano.** *PROBLEMAS RELATIVOS A CONDUCCIÓN DE AGUA*. 2012.
8. **Organización Mundial de la Salud.** Agua, saneamiento y salud (ASS). [En línea] [Citado el: 03 de Noviembre de 2014.] [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/mdg1/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/).
9. **ETAPA EP.** INFORMACIÓN GENERAL. *Agua Potable*. [En línea] [Citado el: 04 de Noviembre de 2014.] <http://www.etapa.net.ec/Agua-potable/Potabilizacion/Informacion-General>.
10. **Luis Alberto Avila Arreola.** *AUTOCAD CIVIL 3D APLICADO AL CAMINO: COALCOMÁN - LAS TROJES, KM 0+000 AL KM 5+000, ORIGEN EN: COALCOMÁN, MICH.* Morelia : Universidad Michoacana San Nicolas de Hidalgo, 2010.
11. **Bentley.** Bentley Systems Web Site. [En línea] [Citado el: 04 de Noviembre de 2014.] <http://www.bentley.com/es-MX/Corporate/About+Bentley+Software/>.
12. **Indemer.** Investigación de mercados. [En línea] 2010. [Citado el: 01 de Noviembre de 2014.] <http://www.colombiamercadeo.com/>.
13. **Gerardo Ríos Jimenez.** *MÉTODOS PARA CALCULAR LA POBLACIÓN FUTURA*. 2013.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

14. **David Ospina Botero.** *MODELOS MATEMÁTICOS ELEMENTALES EN PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN.* Colombia : Universidad Nacional, 1981, Vol. III.
15. **CARE Internacional-Avina.** *Programa unificado de fortalecimiento de Capacitaciones. Operación y Mantenimiento de sistemas de agua potable, Modulo 5.* Ecuador : s.n., 2012.
16. **SGSmap Ingenieros Consultores.** SGSmap. [En línea] 2007. [Citado el: 18 de Octubre de 2014.]  
<http://www.sgsmap.com/modulos/usuariosFtp/conexion/archivos172a.pdf>.
17. **Guadalajara Web Site.** RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE. [En línea] 2010 de Agosto de 18. [Citado el: 22 de Octubre de 2014.]  
[www.guadalajara.es/recursos/doc/.../12519\\_3183182010124442.pdf](http://www.guadalajara.es/recursos/doc/.../12519_3183182010124442.pdf).
18. **Juan Gutierrez.** Bentley Communities. [En línea] Bently College Blogs, 13 de Agosto de 2009. [Citado el: 16 de Octubre de 2014.]  
[http://communities.bentley.com/other/old\\_site\\_member\\_blogs/bentley\\_employees/b/juan\\_gutierrez\\_blog/archive/2009/08/13/sintesis-de-diferencias-entre-bentley-watercad-gems-v8i-y-epanet](http://communities.bentley.com/other/old_site_member_blogs/bentley_employees/b/juan_gutierrez_blog/archive/2009/08/13/sintesis-de-diferencias-entre-bentley-watercad-gems-v8i-y-epanet).
19. **Bentley Systems Incorporated.** Modelación y Gestión de Sistemas de Distribución con Integración GIS. [En línea] [Citado el: 18 de Octubre de 2014.]  
<http://www.bentley.com/es-MX/Products/WaterGEMS/Top-Reasons.htm>.
20. **Paúl Ochoa.** *Tutorial de prácticas ArcGis Versión 9.2.* Cuenca : Universidad del Azuay, 2008.
21. **Edson Elar Caso Osorio.** *DESCRIPCIÓN DE LA SUITE ARCGIS, REPRESENTACIÓN Y CONSULTA DE DATOS.* Huancayo : Región Junin, 2010.
22. **Joaquín Bosque Sendra.** *Sistemas de información geográfica.* Madrid : Ediciones Rialp, 2000.
23. **Comisión Nacional del Agua.** *MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO.* México : Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2007.
24. **María del Mar García Alcaraz.** *Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas.* Cartagena : Universidad Politécnica de Cartagena, 2006.
25. **Ing. Yuri Marco Sánchez Merlo.** *Análisis y Simulación de Redes de Distribución de agua para casos de Emergencias.* 2002.
26. **Tobias Schwarz.** CLIMATE-DATA. [En línea] [Citado el: 22 de 09 de 2014.]  
<http://es.climate-data.org/location/181841/>.